

3.1.1 Osservazioni e precisazioni:

- L'uso dello sbraccio sulle strade principali, che sono quelle interquartiere e di quartiere, oltre a rendere la soluzione più rappresentativa e costituire un elemento di arredo urbano, permette anche di avere maggiore versatilità per cercare la configurazione d'impianto migliore in diverse situazioni e con svariate geometrie stradali, non solo giocando sulla altezza ma con la sporgenza dello sbraccio stesso, in funzione delle caratteristiche delle strade su cui i punti luce andranno installati
- la scelta di uniformare e semplificare le tipologie previste nelle strade locali dentro e fuori dal centro abitato, e quindi meno rappresentative e meno significative per riconoscimento del tessuto urbano, rientra in un'ottica di minimizzazione dei costi, e armonizzazione delle tipologie, anche in funzione di semplificare la manutenzione.
- per quanto riguarda gli apparecchi illuminanti ammessi, oltre ad una necessità di uniformità di estetica (quindi le forme devono essere se non le stesse , almeno simili), per quanto riguarda le prestazioni illuminotecniche si faccia riferimento al capitolo successivo riguardante il dimensionamento degli impianti, in cui si vanno a fissare delle prestazioni minime che devono essere necessariamente soddisfatte in determinati tipi e configurazioni stradali
- Chiaramente il dimensionamento del sistema sostegno + apparecchio, che dipende dal tipo di strada in cui andrà inserito, sia a livello di categoria illuminotecnica che di contesto urbano, di grandezza di scala del tessuto urbano circostante, viene lasciato al professionista incaricato della progettazione esecutiva dei singoli tratti.

3.2 SORGENTI LUMINOSE E COLORE DELLA LUCE

Sempre legata alla caratterizzazione delle aree omogenee dal punto di vista illuminotecnico, è la scelta della tipologia delle sorgenti luminose e della loro temperatura di colore.

Nel caso di Codognè, già da un po' di anni si è optato per l'adozione di lampade AL SODIO ALTA PRESSIONE a LUCE GIALLA, che presentano una buona efficienza, tant'è che è la sorgente auspicata dalla LR 17/09, ma hanno scarsa resa cromatica. mentre restano negli impianti più obsoleti varie centinaia di lampade al mercurio, di luce bianca, ma di scarsa qualità con poca efficienza e mediocre resa cromatica.

La scelta della luce bianca ad alta efficienza, supportata dalle lampade di nuova generazione, con tecnologia LED o a ioduri metallici con bruciatore ceramico (CDO), o ancora al sodio di nuova generazione (CPO) e con temperatura colore non superiore dei 4.000 °K, permetterebbe invece di creare un ambiente confortevole adatto ai luoghi in cui le persone vivono e si incontrano, dove vi sono monumenti e dettagli che devono essere visti anche di notte per poterne apprezzare interamente la loro bellezza, e rappresenta quindi il tipo di sorgente più adatto per le strade e aree più rappresentative del territorio comunale.

Vi era sempre stato però un problema di efficienza luminosa, espressa in lm/W, che era più favorevole per le lampade a luce gialla, per le quali raggiunge mediamente livelli superiori ai 100 lm/W, mentre le lampade a luce bianca erano più energivore, anche se di poco; la tecnologia sta però evolvendo verso modelli di lampade a luce bianca sempre più efficienti, e in alcuni modelli già con performance migliori rispetto alla luce gialla e la previsione per il futuro è molto ottimistica, specialmente se si pensa all'evoluzione che si sta attuando nei LED. Inoltre la normativa di sicurezza, la UNI 11248 prevede la possibilità di declassare le strade (e quindi richiede agli impianti prestazioni illuminotecniche minori) se si usa luce bianca e ciò va a tutto vantaggio della luce bianca, che diventa più conveniente anche nel caso presentasse efficienze leggermente minori.

Inoltre, il fatto che molte delle strade del territorio comunale non richiedono compiti visivi difficoltosi, tipo le locali urbane o le aree verdi, possono avvantaggiarsi dalla possibilità di utilizzare le taglie molto versatili dei led.

Finora nel territorio di Codognè si è scelto di non adottare i LED in attesa che la tecnologia fosse più matura e ci fossero più riscontri oggettivi della bontà di tale soluzione. Il mercato offre infatti praticamente di tutto ed è davvero difficile orientarsi e capire se ciò che viene promesso può essere poi garantito.

Secondo la L.R. 17/09 sarebbero da preferire le lampade al sodio, siano esse alta che bassa

pressione, è ammesso l'uso dei LED, mentre le lampade con resa cromatica alta e buona efficienza inspiegabilmente sono relegate solamente nei centri storici.

In funzione di quanto sopra detto, la scelta per Codognè, d'ora in poi PER I PROSSIMI INTERVENTI, prevede **LUCE BIANCA obbligatoriamente nelle **ZONE ANTISTANTI LE VILLE VENETE**, con **temperatura di colore non superiore ai 3.000 °K**, per un discorso di comfort e valorizzazione delle emergenze architettoniche.**

Anche per le aree verdi e le ciclabili possono avvantaggiarsi dall'uso della luce bianca ad alta efficienza, sia per la miglior resa cromatica della vegetazione, sia per la possibilità di utilizzare taglie di potenza delle lampade più versatili in applicazioni che solitamente non sono troppo impegnative dal punto di vista dei risultati illuminotecnici.

Per le altre tipologie di strade è ammesso continuare ad illuminarle con la luce gialla del sodio alta pressione, ma nulla toglie che in futuro si possa prevedere apparecchi a luce bianca (condizione necessaria richiesta è che la temperatura di colore non sia superiore ai 4.000 °K), sempre che si dimostri che i costi complessivi di tali impianti risultino inferiori a quelli tradizionali, come verrà meglio specificato nel successivo capitolo 3.2.1.2 "Valutazioni costi – benefici delle lampade a LED".

Per meglio chiarirne le problematiche, nei capitoli seguenti si riporta un breve approfondimento sul tema LED.

3.2.1 Sorgenti luminose a LED

E' ormai opinione diffusa che i diodi emettitori di luce, conosciuti meglio come "LED" (dall'acronimo inglese *light emitter diode*), stiano operando una rivoluzione nel campo dell'illuminazione pubblica e privata, pari a quella che fece la lampada ad incandescenza ormai oltre 2 secoli fa, quando si passò dalla lampada a gas e quella famosa lampadina Edison.

I vantaggi che la tecnologia Led promette e in parte sta dimostrando sono tali che la svolta sembra ormai avviata e non si interromperà tanto facilmente, ma per ora occorre tener presente che la ricerca è ancora in sviluppo, anche se rapidissimo, e i dati sono in continuo aggiornamento.

Si tratta di sorgenti di ridotte dimensioni con una emissione luminosa essenzialmente nel loro semispazio anteriore che sono diventate di interesse illuminotecnico da quando sono stati realizzati i primi LED di potenza. L'evoluzione è ancora in corso, e non riguarda solamente l'aspetto tecnico ma anche un diverso metodo di approccio al problema: con i LED c'è stata l'irruzione dell'elettronica nel tranquillo mondo del "lighting", si è passati dal rigore geometrico

della "sorgente" alla sfuggente indefinitezza del "sistema multisorgente", e si è manifestata l'esigenza di una faticosa convergenza tra mondi e culture diverse, quello dell'illuminotecnica e quello dell'elettronica.

E' importante valutare la bontà della tecnologia LED considerando comunque i criteri principali adoperati per le lampade tradizionali: flusso ed efficienza luminosa, potenza, durata di vita, qualità della luce, condizioni di alimentazione e di funzionamento ottico, termico e meccanico, integrazione con gli apparecchi e costi economici.

POTENZA

Essendo i LED alimentati normalmente in controllo di corrente, i prodotti sono suddivisi per i valori della corrente nominale, tipicamente 350, 750 e 1000 mA. Considerando che la caduta di tensione su un LED bianco a giunzione singola è di circa 3,4 V, le corrispondenti potenze nominali sono di conseguenza 1,2 / 2,5 e 3,4 W. In realtà la caduta di tensione ai capi del Led (forward voltage) è variabile, ed è il parametro fondamentale per la definizione dell'assorbimento di potenza del sistema. L'assorbimento sarà tanto più basso, e quindi più conveniente in termini di bolletta elettrica, quanto la caduta di tensione sarà bassa

FLUSSO LUMINOSO

I flussi luminosi per LED bianchi sono tipicamente di 40-100 lm per LED alimentati a 350 mA. All'aumentare della corrente c'è un calo di efficienza quantica e per esempio sono commercialmente disponibili LED da 150 lm a 1A. Per un corretto dimensionamento del prodotto finale è indispensabile avere evidenza del flusso minimo caratterizzato a 350 mA e riferito a specifiche temperature di colore, mentre valori di flusso espressi a correnti superiori, come ad esempio a 700 mA potrebbero creare aspettative di performance del sistema che poi potrebbero essere disattese

QUALITA' DELLA LUCE

Gli attuali LED bianchi sono normalmente suddivisi in tre grandi famiglie, quando si analizza la qualità della loro luce: bianco freddo (tra i 5.000 e i 6.000 °K), bianco neutro (attorno ai 4.000°K) e bianco caldo (sui 3.000°K).

Tutte le famiglie presentano un discreto indice di resa cromatica, che varia da 70 a 90.

EFFICIENZA LUMINOSA

Allo stato attuale sono già utilizzati per realizzare sorgenti luminose complesse LED che hanno un'efficienza luminosa superiore a 100 lm/W, mentre sviluppi di ricerca hanno già raggiunto efficienze paria 130 lm/W e indicano un continuo e rapido aumento.

Le migliori efficienze dei LED bianchi sono attualmente ottenute per temperature di colore molto elevate (bianco freddo, dell'ordine di 5700 K) che non permettono un loro impiego per una gradevole illuminazione d'interni; essi si possono invece presentare vantaggiosi per l'illuminazione esterna, in particolare lavorando a bassi livelli di luminanza, per i quali l'occhio

umano ha una maggiore sensibilità nel verde. Da ricordare però che neanche nel campo dell'illuminazione esterna si è abituati a temperature di colore così fredde, che possono quindi risultare sgradite, specialmente in ambito urbano. Per quanto riguarda invece temperature di colore più calde l'efficienza si aggira al massimo sui 80 lm/W, retando al di sotto di quanto si può ottenere con le lampade tradizionali.

CARATTERISTICHE OTTICHE

I LED, diversamente dalle sorgenti primarie attualmente usate in apparecchi per l'illuminazione, che emettono quasi indistintamente nello spazio, hanno una emissione nel solo semispazio frontale. Ciò può permettere un migliore controllo della direzione della luce emessa dagli apparecchi utilizzando le sorgenti elementari costituite dai LED e le piccole lenti che condensatrici.

I LED sono dotati di un'ottica primaria, integrata nel chip stesso, con o senza lente, attualmente disponibili in un range tra i 90° e i 170°, ed eventualmente di un'ottica secondaria, con riflettore, o lente o ibrida. Le due ottiche devono essere coordinate e l'ottica secondaria deve essere progettata tenendo conto delle caratteristiche emissive dell'ottica primaria: se ad esempio in funzione dell'applicazione ho necessità di un'ottica secondaria, l'ottica primaria deve essere necessariamente stretta per migliorare l'efficienza del sistema

I LED sono sorgenti elementari molto piccole che possono essere composte facilmente, assieme a lenti convergenti, allo scopo di realizzare apparecchi d'illuminazione dedicati alle diverse applicazioni: si può ridurre la luce dispersa verso superfici che non fanno parte del compito visivo, riducendo così anche il disturbo dovuto alla luce che alle volte penetra in spazi privati, convogliando la luce solamente nelle zone d'interesse, riducendo le potenze impegnate, a parità di prestazioni illuminotecniche ottenute.

Una volta definita una distribuzione per l'intensità luminosa dell'apparecchio si può pensare di volere individuare la migliore configurazione dei componenti elementari nel realizzare la modalità di emissione della luce nello spazio individuata per il sistema d'assieme.

Allo scopo di rendere efficiente la progettazione di apparecchi d'illuminazione basati su questa nuova tecnologia, si ritiene interessante, e di grande utilità per gli attuali produttori di apparecchi d'illuminazione, sviluppare un codice di calcolo capace di ottimizzare le disposizioni spaziali delle sorgenti elementari basate su LED nella realizzazione di predefinite distribuzioni di intensità luminosa. Date la versatilità, la controllabilità della direzione di emissione e la componibilità delle sorgenti elementari, il codice potrebbe essere pensato in modo tale da ottimizzare l'utilizzo della potenza luminosa e dirigerla in modo molto controllato sul compito visivo, minimizzando l'impiego di energia, a parità di visibilità degli oggetti illuminati.

DURATA DI VITA

Per le sorgenti a LED, sia bianche che colorate, è normalmente dichiarata una vita media

dell'ordine di 20.000-50.000 ore di operazione. Si tratta in realtà di un tempo stimato in condizioni operative molto diverse da quelle nelle quali si troverebbero ad operare i LED se usati per scopi illuminotecnici. Un esempio per tutti è la temperatura di lavoro alla quale viene dichiarata la durata, pari a 25°C per la giunzione del LED. È evidente che tale valore non potrà essere mantenuto durante un'operazione con la temperatura ambiente che può superare i 30°C e la necessità di disperdere nell'ambiente la potenza dissipata all'interno del dispositivo. In particolare, proprio l'impossibilità di mantenere bassa la temperatura di giunzione porta ad una accelerazione del degrado del dispositivo se utilizzato nelle sue condizioni elettriche nominali. Ricerche nel campo dei semiconduttori sono in atto per migliorare queste prestazioni, ed abbassare la resistenza termica al fine di consentire una migliore dissipazione e quindi una più lunga durata di vita.

CONDIZIONI DI ALIMENTAZIONE

Ogni LED è progettato per generare flusso luminoso a un determinato valore della corrente continua, chiamata corrente di pilotaggio, e della temperatura di giunzione. Alti valori della corrente di pilotaggio decurtano la durata dei LED; d'altro canto le correnti deboli comportano la riduzione dei flussi luminosi. È importante quindi mantenere la corrente ad un valore pressoché costante: tale funzione viene svolta dal dispositivo di alimentazione, l'alimentatore / convertitore, che prima riduce la tensione di rete e quindi la converte da alternata a continua. Esistono in commercio anche LED che, senza l'uso di un alimentatore dedicato, ma con l'utilizzo solamente due resistori, possono essere alimentati direttamente alla tensione di rete (110 V – 240 V). Essi consistono in serie di più LED direttamente realizzate nello stesso chip operanti alternativamente su una delle due semionde della tensione di rete.

Ad oggi sono disponibili in commercio alimentatori per power LED caratterizzati da efficienze molto elevate, fino a superare – in certi casi – il 90%. Questo parametro è molto importante in quanto va a influenzare in maniera importante l'assorbimento del sistema.

Alimentatori di qualità fanno la differenza per quanto riguarda affidabilità del sistema e durata nel tempo, ma hanno costi elevati. Garantire la corretta corrente impressa, anche in presenza di sensibili variazioni del carico e dell'alimentazione di rete non è così facile. Infatti, nel campo dei prodotti destinati al largo consumo e oggetto di vivace concorrenza, il vincolo del costo è assai stringente, così da non lasciare generosi margini di sicurezza nel dimensionamento dell'elettronica di potenza. Gli alimentatori elettronici realizzano la regolazione della corrente attraverso circuiti di tipo switching, che se da un lato garantiscono rendimenti elevati (anche finon al 90%) dall'altro devono essere realizzati con componenti e con scelte circuitali di ottima qualità per non diventare loro stessi il tallone d'Achille dell'affidabilità del sistema LED, oppure cagionare essi stessi un invecchiamento prematuro dei LED a causa di una cattiva regolazione della corrente. Ne consegue che limiti di costo e ingombro si ripercuotono troppo spesso

negativamente sulle prestazioni e affidabilità dell'alimentatore elettronico e spingono a soluzioni di compromesso. Questi compromessi, da un lato necessari per l'economicità del prodotto, sono talvolta taciuti nelle schede tecniche degli alimentatori, lasciando spesso nel dubbio l'acquirente sulla effettiva validità ed affidabilità del prodotto.

SOSTENIBILITA' E SICUREZZA

Rispetto alle lampade tradizionali è assai minore la quantità dei materiali utilizzati nella fabbricazione; l'assenza del vetro rende più resistente il prodotto; la drastica riduzione degli ingombri e dei pesi agevola e semplifica l'approvvigionamento dei materiali, la produzione industriale, la movimentazione e l'imballaggio, il trasporto, la logistica e dismissione.

Il LED non contiene sostanza tossiche e nocive.

Le parti del LED sono facilmente disaggregabili, smaltibili e riciclabili.

Con il termine di sicurezza ottica possiamo intendere l'insieme di tutti gli accorgimenti che si rende necessario adottare per evitare che le radiazioni emesse da particolari dispositivi nelle varie condizioni ambientali risultino dannose per l'utilizzatore. La norma IEC 62471 – Sicurezza fotobiologica di lampade e sistemi di lampada norma, entrata in vigore al posto della IEC/EN 60825 (la cui validità è terminata il 1° settembre 2010), assegna dei limiti espositivi, delle tecniche di misura di riferimento e uno schema di classificazione.

La nuova norma fornisce linee guida per la valutazione e il controllo dei rischi fotobiologici da parte di tutte le sorgenti che emettono radiazione ottica nel range di lunghezze d'onda comprese tra 200nm e 3000nm, quindi comprende oltre allo spettro visibile, anche l'ultravioletto e l'infrarosso.

Se l'esposizione diventa eccessiva, le radiazioni potrebbero generare lesioni agli organi del corpo umano che sono più esposti, e cioè la cute e gli occhi.

Nei laboratori vengono effettuate le misurazioni di opportune grandezze radiometriche fondamentali, al fine di classificare i gradi di pericolosità degli apparecchi, esse sono l'irradianza spettrale, definita come la potenza o il flusso radiante che incide su un elemento di superficie e la radianza spettrale, definita come la potenza radiante emessa da una porzione di sorgente in una certa direzione. A seconda del grado di pericolosità gli apparecchi vengono classificati secondo 4 gruppi di rischio

Rischio di danno foto biologico	Gruppo esente da rischi	Gruppo di rischio 1	Gruppo di rischio 2	Gruppo di rischio 3
	Nessuno	Basso	Moderato	Alto
Rischio di danno fotochimico alla retina	2,8 ore	100 sec	0,25 sec	< 0,25 sec
Rischio di danno termico alla retina LR	10 sec	10 sec	0,25 sec	< 0,25 sec

3.2.1.1 Analisi critica dei vantaggi, punti di forza e peculiarità dei led

- Nei settori professionali il Led apre le porte a una luce più precisa e plasmabile; il LED cambierà l'uso e la fruizione della luce, il modo di consumarla e percepirla.
- Ha un'efficienza elevata, ma questa non è certamente la sua prestazione più elevata (da ricordare anche che le prestazioni sono performanti solo per temperature di colore molto più fredde di quanto si è abituati, soprattutto all'interno ma anche all'esterno). Il vero vantaggio del LED risiede principalmente nella possibilità di illuminare con fattori di utilizzazione più elevati rispetto a quanto consentono le sorgenti tradizionali e quindi di realizzare elevati illuminamenti esattamente dove serve senza spargere flusso nel suo intorno (sempre che sia supportato da ottiche di qualità e studiate appositamente per ogni determinata applicazione). Così alla fine dei conti se tutto è ben dimensionato è possibile installare potenze più basse per ottenere praticamente gli stessi risultati
- Questa sua plasmabilità dà la possibilità, in futuro, di progettare apparecchi "cuciti" su misura per ogni situazione ed esigenza illuminotecnica, senza la costrizione di scegliere fra poche taglie di potenza ed emissione del flusso luminoso come si è costretti a fare con le lampade tradizionali (ad esempio 70, 100 o 150W per le lampade al sodio alta pressione), rischiando facilmente di progettare impianti sottodimensionati o altrimenti sovradimensionati, ma raramente con la potenza (e conseguentemente il consumo energetico) veramente necessaria in una data situazione. Tale plasmabilità è però ancora una potenzialità in gran parte non esplorata: il comportamento dei LED si discosta innegabilmente da quello delle lampade tradizionali, e ciò comporta per i produttori di apparecchi una difficoltà nell'imparare come utilizzarli e applicarli correttamente, anziché adottare la strada più facile che consiste nel fare delle operazioni di retrofit su apparecchi già in commercio, o simili a quanto già esiste sul mercato.
- Il LED è meccanicamente molto resistente, dimmerabile, si riaccende a caldo e funziona a bassissima tensione. Poiché il flusso del LED di potenza è funzione della corrente di alimentazione, è consigliabile scegliere un tipo di driver che consenta di variare la corrente di alimentazione, in modo da poter sfruttare il gran vantaggio che lo stato solido presenta, ovvero la regolazione del flusso con variazioni trascurabili di temperatura di colore, senza creder però che una regolazione spinta non crei problemi di affidabilità e di durata di vita, come qualcuno evita di mettere in guardia.
- La vita media dei LED è molto alta, ma è ancora da verificare se i risultati di laboratorio sono realizzabili anche nelle condizioni reali, con temperature ambiente

diverse. Inoltre, se non di qualità, l'alimentatore elettronico può creare dei grossi problemi nell'affidabilità del sistema illuminante, rendendolo più "fragile" e meno duraturo delle lampade tradizionali. Il superamento, anche in misura modesta, della tensione diretta di giunzione, può causare la distruzione del LED. Sotto questo profilo si tratta dunque di dispositivi molto più critici di qualunque sorgente luminosa tradizionale, nei quali il severo controllo della corrente non è solo finalizzato al conseguimento di lunghe durate di vita o elevate qualità illuminotecniche (come avviene ad esempio con il controllo della tensione per le sorgenti a scarica), ma alla stessa possibilità di sopravvivenza della sorgente. In buona sostanza bisogna osservare la stessa cura posta nella scelta dei LED, anche nella scelta degli alimentatori. Si evince inoltre che in un tempo di vita media dell'impianto di 25/30 anni la manutenzione non potrà essere eliminata completamente, perché Led ed alimentatore, per quanto ben costruiti, più di 15 anni non possono funzionare, ed è importante perciò che i costruttori, propongano apparecchi che non siano "usa e getta" come molti fin'ora hanno fatto, nella fretta di lanciare prodotti sul mercato acriticamente "assetato" di LED.

- I minimi ingombri e i pesi di modesta entità, congiuntamente alla semplicità della struttura del prodotto, sono caratteristiche che tendono a ridurre l'impatto dei LED sull'ambiente, sia costruito che naturale, assieme soprattutto all'assenza di sostanze tossiche e nocive, come il mercurio, presente nelle attuali lampade a scarica.
- Uno dei vantaggi nell'adottare la tecnologia LED per l'illuminazione generale, non appena sia assodata e competitiva sotto il profilo tecnico, energetico ed economico la sua superiorità su altri tipi di sorgenti, consiste soprattutto nel poter disporre di un'illuminazione a luce "bianca" con notevoli vantaggi energetici di tipo indiretto legati alla possibilità di adottare normativamente livelli di luminanza nominale più bassi per il fatto che la visione avviene in modo efficace in condizioni mesopiche. Portando l'occhio a lavorare in condizioni mesopiche, livelli di luminanza inferiori a 1 cd m^{-2} , i bastoncini assumono un'importanza crescente nella visione umana e portano ad avere una sensibilità spettrale che ha un massimo che si sposta dal giallo-verde della visione fotopica, alle lunghezze d'onda minori del verde-blu. L'attuale normativa considera livelli di luminanza valutati, sulla base di una grossa esperienza e sperimentazione, necessari a garantire la sicurezza. Ricerche svolte utilizzando sorgenti con emissione maggiore nel verde-blu sembrano mostrare la possibilità di garantire gli stessi standard di sicurezza, ottenibili con gli attuali livelli di luminanza suggeriti dalle normative e con le lampade a luce "gialla", con una accettabile resa cromatica, ma lavorando a livelli più bassi di luminanze. Tali livelli sembra possano essere bassi a tal punto da fare sì che sorgenti con maggior contenuto verde-blu, anche se meno efficienti da un punto di vista fotometrico, possano diventare vantaggiose per l'illuminazione esterna notturna. Anche se l'attuale normativa per l'illuminazione esterna considera già la possibilità di ridurre i livelli di luminanza in presenza di sorgenti con buona resa cromatica, sarà necessaria ancora una ulteriore sperimentazione prima che le sorgenti e i livelli di luminanza necessari per la sicurezza stradale possano essere valutati direttamente sulla base delle condizioni di visione mesopiche; l'attività di ricerca infatti svolta in questo campo non è così matura da potere trasferire le informazioni acquisite a standard di sicurezza e si ritiene che sia necessaria una ulteriore sperimentazione in proposito. Inoltre occorre tener presente le diverse esigenze che occorre soddisfare quando il tratto stradale da illuminare è inserito in contesto urbano, nel quale non è sufficiente considerare solo gli aspetti di sicurezza e

consumo, ma anche di confort visivo, visto che gli utenti non sono solo gli automobilisti ma anche i pedoni, per i quali una temperatura di colore troppo elevata oltre i 5.000 °K può risultare eccessiva e fastidiosa.

- Inoltre, verrebbe decisamente migliorata la percezione dei colori rispetto alle lampade al sodio alta pressione, con vantaggi anche sotto il profilo della sicurezza.

3.2.1.2 Valutazione costi – benefici delle lampade LED

Gli apparecchi di illuminazione devono consentire l'abbassamento dei costi energetici, di manutenzione e gestione, considerando lo scenario di dismissione delle apparecchiature elettriche. Accanto agli obiettivi di sicurezza illuminotecnica, occorrerà adottare tecnologie considerate ottimali in ottica di ciclo di vita per ottimizzare sia in termini economici sia ambientali un sistema di illuminazione.

Disporre di una sorgente luminosa con alta efficienza senza curare il controllo del flusso luminoso sul compito visivo assegnato (ad esempio una strada urbana a traffico veicolare locale piuttosto che di quartiere, o un percorso ciclopedonale, con le relative caratteristiche geometriche e di flusso del traffico) comporta un incremento dei punti luce e dei costi relativi a plinti e cavidotti (in media gli apparecchi pesano attorno al 10 % sui costi iniziali totali d'impianto, mentre le opere civili correlate si aggirano sul 70 %).

Una soluzione che adotti sorgenti luminose a LED deve garantire, a parità di geometria di illuminazione, le stese prestazioni illuminotecniche ed energetiche di una soluzione luminosa con sorgenti a scarica di ultima generazione per potersi dire competitiva.

Ad esempio, per una pista ciclabile tipo (larghezza 2 m con pali alti 4 m fuori terra), che avendo classi illuminotecniche meno onerose, è l'ideale per sfruttare al meglio le attuali prestazioni dei LED e la loro modularità, fissando l'interdistanza tra i pali a 16 m, si possono ottenere, con diverse sorgenti luminose, le seguenti configurazioni d'impianto,

Apparecchio 35W HCIT - 3500lm UNI11248 – CLASSE S2 Emed : 18 lux Emin : 10 lux Uniformità 0.55	Apparecchio 50W HPST - 4400lm UNI11248 – CLASSE S2 Emed : 23 lux Emin : 12 lux Uniformità 0.52
Apparecchio 16W LED - 1100lm UNI11248 – CLASSE S2 Emed : 10 lux Emin : 5 lux Uniformità 0.50	

Come si osserva facilmente, a parità di geometria d'impianto, la potenza installata con i LED è nettamente inferiore e conseguentemente anche l'energia assorbita e le emissioni di CO₂, e

considerando che la classe illuminotecnica S2 richiede un Emed di 10 lux e un Emin di 3 lux, si vede come l'impianto è ben dimensionato, mentre con le lampade tradizionali, che hanno taglie predefinite, appare invece sovradimensionato.

Diverso è invece il discorso per strade veicolari, con classi illuminotecniche più onerose, in cui la geometria dell'impianto che soddisfa la normativa, può variare a secondo della sorgente luminosa adottata.

Se si confrontano, per un determinato tratto stradale, le soluzioni ottimali ottenibili con lampade tradizionali e lampade a LED (*condizione necessaria richiesta è che la temperatura di colore non sia superiore ai 4.000 °k*), occorrerà analizzare i costi complessivi di ciascuna soluzione-

Con costi complessivi (c_{tot}) si intende la somma tra il costo iniziale di costruzione dell'impianto (c_{imp}), il costo dell'energia assorbita (c_{en}) e i costi di manutenzione (c_{man}) su una vita media dell'impianto presumibile senza esagerare di 25 anni.

$$C_{tot} = C_{imp} + C_{ene} + C_{man}$$

dove, in via semplificativa, possiamo assumere:

C_{imp} comprende il costo di fornitura e posa in opera dei punti luce previsti in progetto (sostegno+apparecchio+lampada+plinto) e dipende dalla geometria d'impianto (altezze e interdistanze che il progettista avrà individuato per soddisfare i requisiti normativi richiesti su una determinata strada con l'apparecchiatura considerata) e quindi dalla bontà del prodotto proposto dal punto di vista illuminotecnico, la quale può variare a seconda delle applicazioni (ad esempio un apparecchio può essere più performante a certe altezze, rispetto altre, e su strade larghe piuttosto che strette, in funzione di come distribuisce il flusso luminoso sulla superficie da illuminare)

C_{ene} è il prodotto per 25 anni del costo del kwh attuale (si trascurano attualizzazioni dei costi) per le ore di funzionamento annue e la potenza assorbita (compreso assorbimento degli ausiliari), tenendo conto di eventuali orari di regolazione con relativo risparmio energetico

C_{man} è il costo di un intervento di manutenzione (manodopera + materiale) per il numero degli interventi che si presume siano necessari in 25 anni di vita media dell'impianto- dipende dalla frequenza prevista per le manutenzioni e l'entità delle manutenzioni stesse (ad esempio attualmente i led promettono vite medie di circa 15 anni, ma attualmente a fine vita nella maggioranza dei casi è prevista la sostituzione dell'intero apparecchio e non della sola lampada come negli impianti tradizionali, che deve essere fatta circa ogni 4 anni)

Se $c_{tot} \text{ led} < c_{tot} \text{ tradizionale}$ allora si potrà prevedere impianti a led, semprechè le prestazioni promesse vengano mantenute nel tempo.

Facciamo un esempio con le seguenti ipotesi progettuali:

- Funzionamento annuo 4.000 h
- Vita media lampada NaAP 16.000 h
- Durata totale dell'impianto 15 anni (60.000 h)
- Numero cambio lampade 3
- Costo dell'energia elettrica 0,125 €/kWh
- Costo lampada NaAP 10,00 €
- Costo sostituzione lampada 22,00 €
- Strada urbana di quartiere, larga 7 m su un tratto di 1.000 m:
 - Categoria illuminotec. di progetto ME3c
requisiti prestazionali 1.0 cd/m² Uo=0.4 Ul=0.5 Tl=15% SR=0.5
 - Categoria illuminotec. di progetto ME4a (declassamento con LED in funzione
UNI 11248 parametro d'influenza: colore della luce)
requisiti prestazionali 0.75 cd/m² Uo=0.4 Ul=0.5 Tl=15% SR=0.5

Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

CORPO ILLUMINANTE	NaAp 150W	LED	LED 56	
CLASSE ILLUMINAMENTO	ME3c	ME3c	ME4a	
Altezza [m]	9	-	8	
Interdistanza [m]	37	-	30	
Numero p.l. al km	27	-	33	
Consumo effettivo potenza [kW]	0,170	-	0,067	
Consumo totale energia [kWh]	275.400	-	132.660	-52%
Minori emissioni CO2 [ton]	-	-	75,6	
Costo impianto [€]	113.600	-	134.600	18%
Costo energia elettrica [€]	34.425	-	16.583	-52%
Costo sostituzione lampada [€]	2.592	-	0	
Costo totale [€]	150.617	-	151.183	0%

Nel caso considerato, i risultati ottenuti si possono così riassumere

- dimezzamento del consumo di energia elettrica,
- sostanziale uguaglianza sul costo totale dell'impianto, dovuto all'alto costo di impianto, ma nell'attuale tendenza di abbassamento dei costi offerti del mercato, prevalenza di convenienza ad installare LED
- contenimento delle emissioni di CO2

3.2.1.3 -Dati disponibili e offerta del mercato

Il mercato offre praticamente di tutto. E' davvero difficile orientarsi e capire cosa si sta comprando realmente: questo vale sia per i led che gli apparecchi e i sistemi di gestione.

Vi sono infatti sul mercato produttori più o meno seri, e per evitare di incorrere in prodotti mediocri occorre valutare le caratteristiche del prodotto. A tal proposito l'AIDI, l'associazione italiana di illuminazione, che si prefigge lo scopo di promuovere la cultura della luce, ha elaborato una questionario, di seguito allegato contenete tutti i dati che è necessario acquisire per valutare la bontà del prodotto LED che viene proposto dal mercato.

Nella fase di scelta dei LED è indispensabile preferire i produttori in grado di fornire documentazione ufficiale che attesti a quali condizioni (temperatura interna e ambiente corrente) il LED deve essere mantenuto al fine di garantire le caratteristiche promesse, ma anche con questa accortezza permangono dei problemi legati al decadimento della vita e del flusso luminoso durante il ciclo di funzionamento in funzione delle condizioni di installazione. Mancano infatti ancora delle normative specifiche che definiscano protocolli di misura univoci per rendere confrontabili apparecchi dello stesso tipo e permetter di prevedere il comportamento del sistema nel tempo.

3.3 APPARECCHI ILLUMINANTI

Gli **apparecchi**, siano essi stradali o da arredo urbano devono presentare le seguenti caratteristiche:

- Classe di protezione per i contatti indiretti Classe II.
- Apparecchio chiuso, con il vano ottico con grado di protezione almeno IP 66 e il vano ausiliari almeno IP43
- Telaio e copertura in alluminio
- Riflettore in alluminio purissimo, se con lampade tradizionali
- Intensità luminosa massima di 0,49 cd per 1.000 lumen a 90° e oltre;
- Il contenitore contenente gli ausiliari elettrici, posto all'interno dell'apparecchio, dovrà avere le seguenti caratteristiche:
 - facile accessibilità;
 - rapida sostituzione dei componenti;
 - sufficiente smaltimento del calore;
 - adeguata protezione.
- Su ogni apparecchio di illuminazione devono essere riportati i seguenti dati di targa:
 - nome della ditta costruttrice, numero di identificazione o modello;
 - tensione di funzionamento;
 - limiti di temperatura ambiente per cui è garantito il funzionamento ordinario, se diverso da 25°C;
 - grado di protezione IP
 - segno grafico per modelli di classe seconda
 -
- A corredo di ogni tipo di apparecchio il costruttore deve presentare la seguente documentazione:
 - curva fotometrica e dati fotometrici tabellari indicanti i valori di intensità luminosa emessa
 - angolo di inclinazione rispetto al piano orizzontale entro cui può essere montato l'apparecchio;
 - certificazione da parte del produttore del rispetto delle prescrizioni della L.R. n. 17/09
 - diagramma di illuminamento orizzontale (curve isolux) riferite a 1000 lm;
 - diagramma del fattore di utilizzazione;

Nel caso siano previsti apparecchi a LED, per la valutazione della bontà dell'apparecchio, si analizzino e si confrontino le seguenti prestazioni:

- corrente di alimentazione (mA)
- potenza assorbita totale (W), compreso alimentatore elettronico
- garanzia fornita per i singoli componenti
- grado di protezione alle scariche atmosferiche (kV)
- dispositivi puntuali per parzializzazione flusso in determinate ore

3.4 PROGETTAZIONE E DIMENSIONAMENTO IMPIANTI

3.4.1 Parametri geometrici degli impianti in base alla classificazione illuminotecnica delle strade

Di seguito vengono date delle indicazioni sulla configurazione degli impianti da adottare per soddisfare le prestazioni richieste per le varie categorie illuminotecniche. Tali indicazioni sono riportate esclusivamente per le strade a traffico principalmente veicolare per le quali è definibile a priori il tipo di impianto adottabile (lampade, apparecchio e sostegno), mentre per le strade a traffico misto o pedonale sono possibili più configurazioni d'impianto.

Una volta fissate le caratteristiche generali dell'illuminazione desiderata, attraverso la classificazione illuminotecnica delle strade, è indispensabile determinare con quali configurazioni di impianto si possono ottenere i risultati richiesti.

Inizialmente è quindi necessario acquisire una serie di elementi da porre alla base di qualsiasi elaborazione successiva:

- geometria dell'installazione
- larghezza della carreggiata
- altezza nominale dei centri luminosi
- interdistanza dei centri luminosi
- distanze di rispetto dei sostegni dal bordo del marciapiede e sporgenza sulla carreggiata stradale
- inclinazione sulla carreggiata del corpo illuminante

3.4.2 Esempi di riferimento per il dimensionamento degli impianti

Come già detto più volte, il dimensionamento esecutivo degli impianti è un onere che riguarda i progettisti che verranno nel tempo incaricati per gli interventi sulle singole aree. Tali progettisti dovranno attenersi alle prescrizioni contenute nel presente PICIL, ma dovranno applicarle con spirito critico rispetto alle esigenze specifiche della zona su cui andranno ad intervenire, anche in funzione di eventuali mutamenti che si possono essere verificati successivamente alla redazione del Piano.

Per poter però, in questa fase, stimare quale sarà l'entità degli interventi necessari all'adeguamento e riqualificazione degli impianti ed eseguire quindi una stima dei costi, sono state fatte alcune ipotesi per distinguere dove considerare necessario solo l'adeguamento o invece prevedere il più o meno completo rifacimento dei singoli impianti, così come meglio spiegato nel capitolo "Individuazione degli interventi":

Nel caso sia previsto un rifacimento degli impianti, o per verificare la fattibilità di lasciare la

geometria d'impianto immutata rispetto all'attuale, sono state effettuate delle verifiche su strade tipo, cioè con caratteristiche geometriche tra le più frequenti tra quelle presenti sul territorio comunale, con gli apparecchi previsti tra quelli utilizzabili all'interno del presente documento. Le verifiche sono state effettuate con lampade tradizionali al sodio alta pressione, in maniera tale da avere un riferimento di confronto assodato per valutare la convenienza di adottare i LED (chiaramente in caso di LED il progettista incaricato potrà avvalersi della facoltà concessa dalla normativa vigente UNI11248 di declassare la strada).

Le verifiche riportate in allegato al presente capitolo riguardano la seguente configurazione di installazione:

1) viabilità urbana ed extraurbana principale – strade di interquartiere e extraurbane secondarie

Strada larga 7/8 metri

Installazione: sul marciapiede a 50 cm dalla carreggiata

Sostegno con sbraccio di 1,2 m (sporgenza fuoco lampada su strada +1,2 m)

Con lampade tradizionali SAP (sodio alta pressione)

Categoria illuminotecnica di ingresso Me2 – Categoria illuminotecnica di progetto Me3a**

Apparecchio: armatura stradale tipo Iridium della Philips o equivalente con lampada SAP tenendo conto della potenza assorbita

Strade urbane principali

larghezza strada	H palo	Lampade SAP		
		Potenza	Interdistanza	W/m
8	8	114	27	4,222
	8	171	31	5,516
7	8	114	27	4,222
	7	83,2	28	2,971
6	7	83,2	29	2,869

2) Strade locali urbane ed extraurbane

Strada larga 6/5 metri

Installazione: sul marciapiede a 50 cm dalla carreggiata

Sostegno con attacco a testa palo (sporgenza fuoco lampada su strada 0 m)

Con lampade tradizionali SAP (sodio alta pressione)

Categoria illuminotecnica di ingresso Me3b – Categoria illuminotecnica di progetto Me4a**

Apparecchio: armatura stradale tipo Iridium della Philips o equivalente con lampada da 70 W SAP (potenza assorbita 83,2 W)

Strade locali urbane

larghezza strada	H palo	Lampade SAP		
		Potenza	Interdistanza	W/m
6	8	83,2	32	2,600
	7	83,2	27	3,081
5	7	83,2	28	2,971
	6	83,2	23	3,617

Nota: per le lampade tradizionali al sodio alta pressione, non vi è la possibilità di scendere sotto i 70 W (esiste il 50 W ma è un cablaggio insolito e poco conveniente per applicare poi la riduzione del flusso)

*** Con l'ultima versione della norma UNI 11280 dell'ottobre 2012 le classi illuminotecniche richieste sono più impegnative per quanto riguarda l'uniformità e ciò penalizza di molto la possibilità di avere buone campate con riduzione dei punti luce. Il singolo progettista incaricato valuti perciò opportunamente la possibilità di poter abbassare il grado di uniformità, anche se la norma non sembra permetterlo.*

Come si può vedere dai dati sopra riportati pesa non avere potenze intermedie tra le taglie disponibili sul mercato, come pure non avere taglie inferiori ai 70 W.

Naturalmente non si pretende di esaurire in questa sede tutte le possibili configurazioni di strade e di impianti, ma le verifiche allegate, oltre a controllare che le campate esistenti rispettino le prescrizioni normative, servono anche per confrontare eventuali altri corpi illuminanti che venissero proposti in sostituzione, che dovrebbero quindi assicurare oltre ad una estetica simile, prestazioni illuminotecniche almeno pari se non superiori a quelle proposte, nelle medesime condizioni per le quali sono state eseguite le verifiche.

Come prima valutazione da effettuare per valutare di adottare una soluzione anziché un'altra è la stima del consumo specifico su Km lineare (**W/Km**), sulla base della configurazione di impianto individuata.

Per sfatare ogni dubbio, la valutazione dei costi-benefici dell'apparecchio proposto, nel confronto tra sorgente tradizionale e LED, dovrebbe però essere effettuata considerando però i costi complessivi in gioco.

Come era già stato specificato al capitolo 2.5.1.2, con costi complessivi (C_{tot}) si intende la somma tra il costo iniziale di costruzione dell'impianto (C_{imp}), il costo dell'energia assorbita (C_{en}) e i costi di manutenzione (C_{man}) su una media dell'impianto presumibile senza esagerare di 25 anni.

$$C_{tot} = C_{imp} + C_{ene} + C_{man}$$

Dove, in via semplificativa, possiamo assumere:

C_{imp} comprende il costo di fornitura e posa in opera dei punti luce previsti in progetto

(sostegno+apparecchio+lampada+plinto) e dipende dalla geometria d'impianto (altezze e interdistanze che il progettista avrà individuato per soddisfare i requisiti normativi richiesti su una determinata strada con l'apparecchiatura considerata) e quindi dalla bontà del prodotto proposto dal punto di vista illuminotecnico, la quale può variare a seconda delle applicazioni (ad esempio un apparecchio può essere più performante a certe altezze, rispetto altre, e su strade larghe piuttosto che strette, in funzione di come distribuisce il flusso luminoso sulla superficie da illuminare)

C_{ene} è il prodotto per 25 anni del costo del KWh attuale (si trascurano attualizzazioni dei costi) per le ore di funzionamento annue e la potenza assorbita (compreso assorbimento degli ausiliari), tenendo conto di eventuali orari di regolazione con relativo risparmio energetico

C_{man} è il costo di un intervento di manutenzione (manodopera + materiale) per il numero degli interventi che si presume siano necessari in 25 anni di vita media dell'impianto- Dipende dalla frequenza prevista per le manutenzioni e l'entità delle manutenzioni stesse (ad esempio attualmente i led promettono vite medie di circa 15 anni, ma attualmente a fine vita nella maggioranza dei casi è prevista la sostituzione dell'intero apparecchio e non della sola lampada come negli impianti tradizionali, che deve essere fatta circa ogni 4 anni)

Se **C_{tot} LED < C_{tot} TRADIZIONALE** allora si potrà tranquillamente prevedere impianti a LED.

Stessa caso vale comunque anche per il confronto tra due diverse soluzioni a LED, visto che il mercato offre innumerevoli varianti di prodotto.

Allegato 3: Verifiche illuminotecniche di riferimento

ALLEGATO 3:

VERIFICHE ILLUMINOTECNICHE DI RIFERIMENTO