Centro Interuniversitario
di Ricerca sull'Inquinamento
da Agenti Fisici - "Mauro Felli"

Università
degli Studi di Perugia
Facoltà di Ingegneria

10° Congresso Nazionale Ciriaf

Sviluppo Sostenibile,
Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Atti

Perugia 9/10 aprile 2010

CARATTERIZZAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE DELLE PRINCIPALI VIE DI CASTIGLIONE DEL LAGO (PG) MEDIANTE SIMULAZIONI

Rita Mariani[1], Margherita Scoccia[1], Nicola Sisti[1]

[1] Università di Perugia, Facoltà di Ingegneria – Dipartimento di Ingegneria Industriale – Sezione di Fisica Tecnica
Via G. Duranti n. 67 – 06125 Perugia

SOMMARIO

L'Umbria solo recentemente si è dotata di una legislazione in materia di prevenzione dall'inquinamento luminoso e risparmio energetico; la Legge Regionale n. 20 è stata infatti approvata nel febbraio 2005 e il relativo Regolamento Attuativo solo nell'aprile del 2007. Di conseguenza, ad oggi, pochi comuni si sono dotati di un piano di illuminazione comunale; tra questi il Comune di Castiglione del Lago, in Provincia di Perugia.

Il Piano, redatto dal CIRIAF (Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento da Agenti Fisici) nel periodo gennaio 2008 – gennaio 2009, è attualmente in fase di approvazione da parte dell'Amministrazione Comunale; dalle analisi effettuate sullo stato attuale dell'illuminazione pubblica, è emersa la necessità di verificare i parametri illuminotecnici relativi alle tre principali vie di accesso al centro abitato principale, Via Buozzi, Via Roma e Via Firenze. Ad una prima fase di rilievo geometrico delle tre strade sono seguite la fase di simulazione mediante il codice di calcolo Litestar 10.0 e il confronto dei risultati ottenuti con i parametri illuminotecnici (luminanza media del manto stradale, uniformità longitudinale, incremento di soglia, rapporto di contiguità) di riferimento per la categoria illuminotecnica assegnata alle tre vie in base alle norme UNI EN 13201-2 e UNI 11248. Sono stati infine proposti degli interventi al fine di rendere ottimale il comfort visivo e ne sono stati valutati i costi.

INTRODUZIONE

Con *inquinamento luminoso* [1] si intende ogni forma di irradiazione artificiale che si disperda al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata o che sia diretta al di sopra della linea di orizzonte; risulta evidente come un uso scarsamente pianificato dell'energia per l'illuminazione artificiale esterna produca uno spreco delle risorse energetiche. Nell'ultimo decennio si è presa coscienza di come l'inquinamento luminoso sia una vera e propria forma di degrado del paesaggio, per questo motivo, a partire dal 1997, diverse Regioni, il Veneto per prima, si sono dotate di una legge in materia. Il 28 febbraio 2005 la Regione Umbria ha approvato la L.R. n° 20 *Norme in materia di prevenzione dall'inquinamento luminoso e risparmio energetico* [1], all'interno della quale il tema dell'inquinamento luminoso è strettamente collegato al risparmio energetico. La Legge della Regione Umbria stabilisce che, tra gli strumenti di pianificazione e di gestione dei propri Comuni, debba essere annoverata anche la stesura di un Piano Comunale per l'Illuminazione Pubblica, il PRIC, che garantisca il rispetto delle finalità espresse dalla Legge stessa. In accordo con le prescrizioni della Legge Regionale e del relativo Regolamento di Attuazione del 5 Aprile 2007 [2], il Comune di Castiglione del Lago (Perugia) ha deciso di dotarsi di un Piano Regolatore di Illuminazione Comunale.

Lo scopo primario è quello di fornire ai soggetti preposti alla pianificazione, progettazione, realizzazione e manutenzione degli impianti d'illuminazione, un quadro finale organico ed univoco di criteri che permettano la prevenzione dell'inquinamento luminoso ed ottenere un conseguente risparmio energetico. Tale pianificazione, nel contempo, non deve inficiare, ma garantire gli standard necessari alla sicurezza del luogo in tema di illuminazione pubblica delle strade, del territorio e del costruito, anzi migliorandone le condizioni, e contribuire alla valorizzazione dell'ambiente urbano e dei centri storici. Dal punto di vista economico, il PRIC costituisce inoltre un utile riferimento per la programmazione degli investimenti e delle spese future. Attraverso la stesura del Piano, il CIRIAF ha così potuto determinare quali siano le modalità di progettazione e di verifica degli impianti di illuminazione, secondo le indicazioni fornite dalla normativa nazionale ed europea. Il Piano ha comportato per la sua stesura un meticoloso lavoro di rilevo ed analisi della struttura impiantistica esistente, per poi proseguire attraverso la comparazione dei dati illuminotecnici attuali con quelli indicati dalla normativa di riferimento. In particolare, tali verifiche sono state effettuate in alcune delle strade principali del centro abitato (Via Buozzi, Via Firenze e Via Roma): i parametri illuminotecnici rilevati sono stati elaborati con l'utilizzo del programma Litestar 10.0, per poi comparali a quelli normati. Questo lavoro ha potuto in tal modo dare esito ad alcune proposte progettuali per uniformare tali parametri a quelli indicati, attraverso anche un'analisi dei relativi investimenti economici necessari.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le normative cui si è fatto riferimento per la verifica dell'illuminazione delle tre vie di Castiglione del Lago sono le UNI EN 13201-2:2004, UNI EN 13201-3:2004, UNI 11248:2007 e UNI 10849:1999 [3, 4, 5, 6].

Le prime due, di stampo europeo, definiscono le categorie illuminotecniche e i fattori ambientali per l'illuminazione stradale, descrivono inoltre le convenzioni e i procedimenti matematici da adottare per il calcolo delle prestazioni fotometriche degli impianti di illuminazione stradale. La UNI

EN 13201-2 delimita, per mezzo di requisiti fotometrici, le classi di impianti di illuminazione stradale in relazione alle esigenze di visione degli utenti, indicando gli aspetti ambientali da considerare nella progettazione e collocazione degli impianti.

La norma definisce delle categorie illuminotecniche caratterizzate da una serie di requisiti fotometrici che tengono conto delle esigenze visive di determinati utenti della strada in certi tipi di zone della stessa: lo scopo di definire categorie illuminotecniche è quello di facilitare lo sviluppo e l'impiego di prodotti e servizi per l'illuminazione stradale nei Paesi membri del CEN. La norma definisce inoltre alcuni criteri da rispettare per quanto riguarda la progettazione e la collocazione degli impianti e delle apparecchiature per l'illuminazione stradale, sia di giorno che di notte; questo vale non soltanto per l'utente della strada ma anche per l'osservatore a distanza.

La UNI EN 13201-3 definisce le convenzioni e gli algoritmi che devono essere adottati per calcolare le prestazioni fotometriche di impianti di illuminazione stradale progettati in conformità alla UNI EN 13201-2.

Le normative italiane UNI 11248 e UNI 10849, inoltre determinano precisamente le condizioni di illuminazione in una data zona della strada, e stabiliscono i requisiti degli impianti di illuminazione esterna per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso proveniente da sorgenti di luce artificiale.

La norma UNI 11248 indica come classificare una zona esterna destinata al traffico, ai fini della determinazione della categoria illuminotecnica che le compete; fornisce, ancora, la procedura per la selezione delle categorie illuminotecniche che competono alla zona classificata e le prescrizioni sulle griglie di calcolo per gli algoritmi della UNI EN 13201-3; oltre a ciò identifica gli aspetti che condizionano l'illuminazione stradale e, attraverso la valutazione dei rischi, permette il conseguimento del risparmio energetico e la riduzione dell'impatto ambientale.

Essa si applica agli impianti di illuminazione fissi, progettati per offrire all'utilizzatore delle zone pubbliche, adibite alla circolazione, buone condizioni di visibilità durante i periodi di oscurità.

La norma UNI 10849 infine prescrive i requisiti degli impianti di illuminazione esterna, per la limitazione della dispersione verso l'alto di flusso luminoso proveniente da sorgenti di luce artificiale, anche al fine di non ostacolare l'osservazione astronomica: tale norma non considera la limitazione della luminanza notturna del cielo dovuta alla riflessione delle superfici illuminate o a particolari condizioni locali, quali l'inquinamento atmosferico, ma si applica esclusivamente agli impianti di illuminazione esterna di nuova realizzazione.

In base alle norme UNI 11248 ed UNI 13201-2, le vie esaminate, rientranti nella classe E (viabilità extraurbana secondaria che, nel momento in cui attraversa il centro abitato, diventa strada di quartiere) sono caratterizzate da velocità di marcia basse (non superiori a 50 km/h): tali strade rientrano nella categoria ME3c, che indica un valore di luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto stradale asciutto pari a 1,00 cd/m^2; infine, secondo la UNI 10849, le strade analizzate sono classificabili in zone di tipo A3, ovvero dove la sicurezza è a carattere prioritario, ma lontano da aree di particolare tutela nei confronti degli osservatori astronomici.

LE SIMULAZIONI EFFETTUATE

Il programma di calcolo LITESTAR 10.0 [7], impiegato nelle simulazioni, è in grado di analizzare le prestazioni illuminotecniche degli impianti stradali in base alla norma UNI EN 13201-3. Al fine di effettuare le simulazioni è stata preparata una *Scheda di rilievo* utilizzata per annotare, in loco, tutti i dati di input necessari al lavoro, dividendoli in *Informazioni generali* e *Dati geometrici*, quali la larghezza del marciapiede, della strada, la distanza tra gli apparecchi, la loro altezza. Nell'ultima parte della scheda è stato inserito il nome dell'azienda produttrice dell'apparecchio illuminante, il tipo e il numero di elementi presenti nell'intero tratto.

Dall'analisi delle tre strade durante i rilievi, è emersa la necessità di suddividerle in diversi tratti, considerando quelli più rappresentativi ai fini del lavoro e cercando di considerare zone con caratteristiche simili dal punto di vista illuminotecnico. In particolare l'illuminazione di via Firenze e di via Buozzi è stata simulata in quattro tratti, quella di via Roma in tre.

Gli apparecchi esistenti sono prodotti dell'azienda Faeber, nello specifico tipo K1 [8], modello le cui caratteristiche principali sono:

- vetro di forma prismoide;
- classe di isolamento I;
- inclinazione rispetto all'orizzontale di 15°;
- attacco per la lampada di tipo E27;
- attacco per il montaggio del palo Φ 60-70;
- lunghezza di 625 mm e larghezza di 310 mm.

Si riporta in fig. 1 una foto dell'apparecchio e la relativa fotometria.

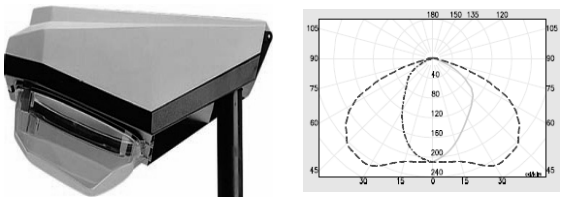

Figura 1: Apparecchio stradale Faeber K1 e curva fotometrica

Per quanto riguarda le lampade, nelle simulazioni sono state considerate due situazioni, per tenere conto di un intervento di ammodernamento dell'impianto recentemente attuato dall'Amministrazione Comunale:

1. lampade al mercurio da 125 W, caratterizzate da un flusso luminoso di 6300 lm;
2. lampade al sodio al alta pressione tubolari da 70 W, caratterizzate da un flusso luminoso di 6600 lm.

Sicuramente mediante l'intervento si è ottenuto un risparmio energetico dovuto alla minore potenza installata ed anche un beneficio legato all'aumento del flusso luminoso emesso, che le simulazioni hanno permesso di valutare.

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

La tab. 1 mostra i risultati delle simulazioni in ogni tratto di strada esaminato, sia prima che dopo l'intervento di sostituzione delle lampade, e i valori di riferimento secondo la UNI 13201-2 per la categoria illuminotecnica ME3c assegnata alle tre strade. Nella riga corrispondente alla situazione attuale sono evidenziati i valori che non rispettano la normativa.

Tabella 1: Risultati delle simulazioni

		PARAMETRI				
		L_{med} [cd/m^2]	U_1 [-]	U_0 [-]	Ti [%]	Sr [-]
VALORI DI RIFERIMENTO UNI 13201-2 CAT. ME3c		≥ 1,00	≥ 0,50	≥ 0,40	≤ 15	≥ 0,50
Via Buozzi Tratto 1	Ante-operam	0,47	0,59	0,23	12,07	0,79
	Post-operam	**0,51**	0,59	**0,23**	12,20	0,79
Via Buozzi Tratto 2	Ante-operam	0,37	0,58	0,19	13,13	0,39
	Post-operam	**0,39**	0,58	**0,19**	13,25	**0,39**
Via Buozzi Tratto 3	Ante-operam	0,29	0,57	0,19	14,98	0,31
	Post-operam	**0,30**	0,57	**0,19**	**15,12**	**0,31**
Via Buozzi Tratto 4	Ante-operam	0,55	0,61	0,25	11,81	0,78
	Post-operam	**0,57**	0,61	**0,25**	11,92	0,78
Via Firenze Tratto 1	Ante-operam	0,32	0,57	0,19	14,85	1,11
	Post-operam	**0,33**	0,57	**0,19**	14,99	1,11
Via Firenze Tratto 2	Ante-operam	0,44	0,50	0,18	12,55	0,80
	Post-operam	**0,46**	0,50	**0,18**	12,67	0,80
Via Firenze Tratto 3	Ante-operam	0,39	0,42	0,18	13,44	0,80
	Post-operam	**0,42**	**0,42**	**0,18**	13,56	0,80
Via Firenze Tratto 4	Ante-operam	0,22	0,66	0,19	11,22	0,82
	Post-operam	**0,46**	0,66	**0,19**	13,05	0,82
Via Roma Tratto 1	Ante-operam	0,42	0,41	0,20	13,43	0,27
	Post-operam	**0,44**	**0,41**	**0,20**	13,56	**0,27**
Via Roma Tratto 2	Ante-operam	0,53	0,37	0,24	10,64	0,29
	Post-operam	**0,55**	**0,37**	**0,24**	10,74	**0,29**
Via Roma Tratto 3	Ante-operam	0,42	0,28	0,20	13,94	0,64
	Post-operam	**0,44**	**0,28**	**0,20**	14,07	0,64

I valori di luminanza media sul manto stradale e di uniformità generale non sono mai rispettati, sia nel caso di lampade al mercurio, sia di lampade SAP; in media i valori di riferimento per L_{med} si attestano su 0.3-0.5 cd/m^2. Il passaggio da lampade al mercurio a lampade SAP ha prodotto mediamente un miglioramento di 0.02 cd/m^2; il miglioramento massimo si è avuto nel tratto 4 di via Firenze ed è stato pari a 0.24 cd/m^2. Tenendo conto che la norma 13201-2 stabilisce come minimo per la luminanza 1 cd/m^2, si può dedurre che l'illuminazione sul manto stradale nelle tre vie non è sufficiente e, come prevedibile, l'intervento di sostituzione delle lampade non ha portato a risultati di rilievo in quanto si è aumentato di poco il flusso luminoso dal caso ante-operam al caso post-operam, da 6300 lm a 6600 lm.

L'uniformità generale U_0 è sempre al di sotto del minimo stabilito, 0.40; i valori variano in un range piccolo e non superano mai lo 0.25 del quarto tratto di via Buozzi; inoltre non c'è alcuna variazione dopo il montaggio delle lampade SAP.

Per quanto riguarda l'uniformità longitudinale U_1 si può notare che, in via Firenze, tranne che nel terzo tratto, e in via Buozzi, i requisiti normativi vengono rispettati; questo non accade, invece, in via Roma in cui si è un po' al di sotto dello 0.50 stabilito dalla UNI EN 13201-2. Anche per questo parametro non si sono avuti miglioramenti sostituendo le lampade.

L'abbagliamento debilitante TI rispetta invece il valore massimo del 15% e la variazione tra le due simulazioni è minima.

Il rapporto di contiguità Sr rispetta la norma e quindi supera il valore di 0.50, in quasi tutti i tratti, fatta eccezione per i primi due di via Roma e per il secondo ed il terzo di via Buozzi.

Le simulazioni hanno inoltre fornito un valore dell'inquinamento luminoso pari a 1.84%, valore che nel caso del Comune di Castiglione del Lago è accettabile in quanto non si hanno postazioni astronomiche vicine con le quali il flusso luminoso può interferire.

In conclusione, la sostituzione delle lampade non ha portato ad un aumento rilevante dei valori dei parametri illuminotecnici; è stato ottenuto un aumento minimo della luminanza media del manto stradale e dell'abbagliamento debilitante; la convenienza ed il miglioramento sono da ricercare nel risparmio energetico, tenendo conto della diminuzione della potenza totale installata.

Si riporta inoltre, a titolo di esempio, il diagramma spot della luminanza (fig. 2 e 3), relativo all'osservatore e alla corsia di riferimento per il confronto con la normativa, del tratto più sfavorito (Via Buozzi, tratto 3) e di quello che presenta i parametri illuminotecnici migliori (Via Buozzi, tratto 4).

Si può notare come la stessa via presenti caratteristiche illuminotecniche disomogenee e nella stessa corsia si passi da valori ben al di sotto di 1 cd/m^2 (0.22 cd/m^2 del tratto 3) a valori superiori (1.46 cd/m^2 del tratto 4).

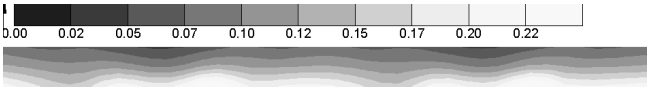

Figura 2: Via Buozzi, tratto 3, corsia 2, osservatore 1

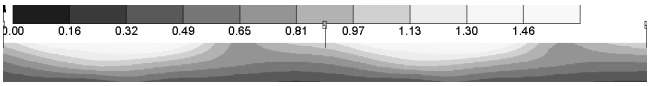

Figura 3: Via Buozzi, tratto 4, corsia 2, osservatore 2

IPOTESI DI INTERVENTO E SIMULAZIONI DI PROGETTO

I risultati delle simulazioni mostrano che l'illuminazione attuale delle tre vie in esame non soddisfa i requisiti illuminotecnici richiesti dalla normativa UNI EN 13201-2 per la categoria illuminotecnica assegnata, Me3c. Si è cercato, quindi, di soddisfare le richieste della normativa sostituendo gli apparecchi stradali attualmente installati con altri di ultima

generazione, aventi altre caratteristiche fotometriche; per quanto riguarda le lampade si è scelto di utilizzare quelle presenti.

Dopo aver effettuato prove con diverse tipologie di apparecchi, si è scelto di presentare i migliori risultati ottenuti; si riportano di seguito le principali caratteristiche dell'apparecchio che li ha forniti.

L'apparecchio stradale *cut-off* scelto è il tipo *Avenue*, prodotto dalla Gewiss [9], le cui caratteristiche principali sono:

- vetro di forma piana;
- classe di isolamento II;
- inclinazione rispetto all'orizzontale da 0° a 15°;
- grado di protezione IP 65 sia per il vano ottico che per il vano elettrico;
- attacco per la lampada di tipo E27;
- attacco per il montaggio del palo da 42 a 76 mm;
- resistenza in tutte le condizioni atmosferiche;
- lunghezza di 770 mm e larghezza di 370 per un'altezza di 285 mm.

È stata scelta la versione bi-regime 50-70 W che consente una riduzione considerevole dei consumi energetici, pur rispettando i valori di illuminamento previsti dalle normative.

Gli speciali dispositivi elettronici programmabili rendono possibile la commutazione della potenza da piena a ridotta, riducendo il flusso luminoso durante le tarde ore notturne, quando il traffico veicolare è limitato. Il sistema non necessita di orologi esterni, sensori crepuscolari o di fasi di comando aggiuntive da portare al punto luce. Inoltre, in modo automatico, il dispositivo elettronico segue le variazioni stagionali dei cicli di luce e buio, garantendo un risparmio energetico ed economico pari almeno al 30% durante gli orari di funzionamento a potenza ridotta. L'esperienza di questi nuovi impianti dimostra che l'investimento iniziale, maggiore rispetto alle versioni tradizionali, viene recuperato mediamente nell'arco di 3 - 4 anni.

Per quanto riguarda i dati geometrici è stato scelto un palo di altezza 9,0 m, rispetto ai 7,0 m del palo montato attualmente, per avere una maggiore uniformità lungo tutta la carreggiata; oltre a ciò è stato aggiunto uno sbraccio di 1 m nelle simulazioni di via Firenze e di via Buozzi, affinché il flusso luminoso arrivasse anche nell'altra corsia della carreggiata, così da migliorare i valori dei parametri illuminotecnici richiesti dalla normativa. Al fine di ottenere risultati più vicini ai requisiti limite di norma, in via Roma l'apparecchio è stato simulato senza lo sbraccio.

La fig. 4 mostra una foto dell'apparecchio e la corrispondente curva fotometrica; la tabella 2 il confronto tra le simulazioni dello stato attuale e dell'ipotesi di intervento.

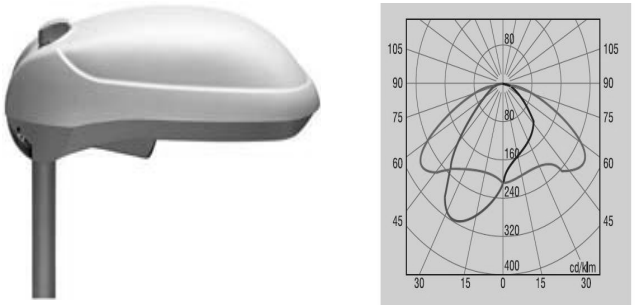

Figura 4: Apparecchio Avenue, prodotto dalla Gewiss e curva fotometrica

Tabella 2: Confronto tra le simulazioni dello stato attuale e dell'ipotesi di intervento

VALORI DI RIFERIMENTO UNI 13201-2 CAT. ME3c		PARAMETRI				
		L_{med} [cd/m^2]	U_l [-]	U_0 [-]	Ti [%]	Sr [-]
		≥ 1,0	≥ 0,5	≥ 0,4	≤ 15	≥ 0,5
Via Buozzi Tratto 1	Situazione attuale	**0,51**	0,59	**0,23**	12,20	0,79
	Ipotesi di intervento	**0,71**	0,63	0,55	6,17	0,50
Via Buozzi Tratto 2	Situazione attuale	**0,39**	0,58	**0,18**	13,25	**0,39**
	Ipotesi di intervento	**0,61**	0,55	0,50	6,31	0,51
Via Buozzi Tratto 3	Situazione attuale	**0,30**	0,57	**0,19**	**15,12**	**0,31**
	Ipotesi di intervento	**0,62**	0,55	0,53	6,16	0,50
Via Buozzi Tratto 4	Situazione attuale	**0,57**	0,62	**0,25**	11,92	0,78
	Ipotesi di intervento	**0,73**	0,65	0,63	5,94	0,50
Via Firenze Tratto 1	Situazione attuale	**0,33**	0,57	**0,19**	14,99	1,11
	Ipotesi di intervento	**0,62**	0,54	0,53	6,10	**0,46**
Via Firenze Tratto 2	Situazione attuale	**0,46**	0,50	**0,18**	12,67	0,80
	Ipotesi di intervento	**0,67**	0,52	0,58	6,44	0,50
Via Firenze Tratto 3	Situazione attuale	**0,42**	**0,41**	**0,18**	13,56	0,80
	Ipotesi di intervento	**0,59**	0,50	0,50	6,37	0,50
Via Firenze Tratto 4	Situazione attuale	**0,46**	0,66	**0,19**	13,05	0,82
	Ipotesi di intervento	**0,62**	0,54	0,54	6,05	0,50
Via Roma Tratto 1	Situazione attuale	**0,44**	**0,41**	**0,20**	13,56	**0,27**
	Ipotesi di intervento	**0,59**	0,50	0,50	6,35	**0,42**
Via Roma Tratto 2	Situazione attuale	**0,55**	**0,37**	**0,24**	10,74	**0,29**
	Ipotesi di intervento	**0,61**	0,50	0,57	6,14	0,50
Via Roma Tratto 3	Situazione attuale	**0,44**	**0,28**	**0,20**	14,07	0,64
	Ipotesi di intervento	**0,54**	0,50	0,51	7,05	**0,43**

Dal confronto tra le due simulazioni, si può notare che, scegliendo un apparecchio di ultima generazione con una fotometria diversa e apportando delle modifiche geometriche, quali l'altezza del palo da 7 m a 9 m e aggiungendo uno sbraccio di 1 m, i valori dei parametri illuminotecnici si avvicinano a quelli richiesti dalla normativa. L'uniformità generale U_0, che prima era ben al di sotto dello 0,4 richiesto, con gli apparecchi della Gewiss lo supera in tutti i tratti considerati; allo stesso modo l'uniformità longitudinale U_l

rispetta la normativa UNI EN 13201-2 anche in via Roma dove prima aveva valori inferiori di 0,5. L'abbagliamento debilitante TI, seppur anche nelle simulazioni effettuate con le lampade SAP, montate negli apparecchi della Faeber rispettava, tranne in un tratto, la normativa, con le modifiche apportate ha valori inferiori, e quindi migliori dal punto di vista del benessere visivo per gli utenti della strada: si è passati da valori superiori al 10% a valori intorno al 6%. Per quanto riguarda il rapporto di contiguità Sr si può costatare un leggero peggioramento che non comporta, però, un problema dal punto di vista del rispetto della normativa, in quanto i valori ottenuti sono in tutti i tratti al limite con i minimi richiesti dalla UNI EN 13201-2.

Un discorso a parte è da farsi per la luminanza del manto stradale L_{med}. Utilizzando gli apparecchi della Gewiss si riscontra un costante e notevole miglioramento rispetto all'impiego degli apparecchi Faeber, fino a raggiungere un aumento del 100% del suo valore nel secondo tratto di via Buozzi, e comunque, in media, si ha un aumento di circa il 50% su tutti i tratti in esame. I valori comunque, non arrivano ancora ad 1 cd/m^2 , che è il valore minimo necessario per il rispetto della normativa. Questo è imputabile al fatto che, per la geometria della strada sarebbe opportuno che i lampioni fossero disposti su due file, in quanto il flusso luminoso non arriva con la stessa intensità dalla parte della carreggiata opposta agli apparecchi stessi.
Si riportano i diagrammi spot della luminanza relativi ai due tratti precedentemente esaminati (fig. 5 e 6).

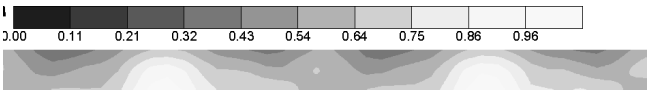

Figura 5: Via Buozzi, tratto 3, corsia 2, osservatore 1

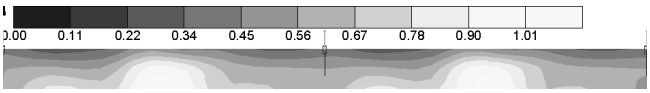

Figura 6: Via Buozzi, tratto 4, corsia 2, osservatore 2

Poiché anche la sostituzione degli apparecchi attualmente installati non fornisce risultati pienamente conformi alla normativa, è stata effettuata un'ulteriore simulazione che considera come dovrebbero essere disposti gli apparecchi lungo la carreggiata affinché i valori di tutti i parametri illuminotecnici rispettino la normativa.

A titolo di esempio è stato preso in esame il tratto 2 di via Roma. La simulazione è stata fatta con gli apparecchi della Faeber, cioè quelli montati attualmente; è stata lasciata inalterata l'altezza del palo di 7 m, l'angolo di inclinazione dell'apparecchio di 15°, l'interdistanza tra i pali nel tratto, che un questo tratto è di 32 m e lo sbraccio, che comprende solo la lunghezza dell'apparecchio stesso che è di 20 cm. È stata cambiata la disposizione degli apparecchi lungo la carreggiata che risultano montati su due file a quinconce; quindi, nel tratto di studio che il software prende in esame, ci sono cinque apparecchi invece che tre. I valori che si ottengono effettuando il calcolo dei parametri illuminotecnici sono riportati in tabella 3.

Disponendo gli apparecchi su due file, il flusso luminoso arriva su entrambe le corsie della strada, così da far salire la luminanza media del manto stradale L_{med} fino al valore di 1,14 e anche gli altri parametri soddisfano i valori richiesti dalla normativa.

Si riportano infine i diagrammi spot della luminanza per la simulazione effettuata (fig. 7 e 8).

Tabella 3: Risultati della simulazione in Via Roma, tratto 2

PARAMETRI	VALORE DI RIFERIMENTO	UNI 13201-2 CAT. ME3c
L_{med} [cd/m^2] minima	1,14	1,00
U_l [-] minima	0,51	0,50
U_0 [-] minima	0,62	0,40
Ti [%] massimo	8,81	15
Sr [-] minima	0,55	0,50
Rn [%]	1,84	-

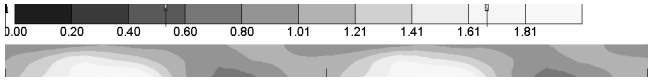

Figura 7 Via Roma , tratto 2, corsia 1, osservatore 2

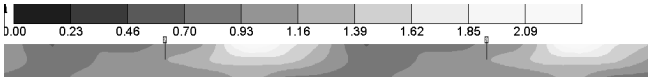

Figura 8: Via Roma , tratto 2, corsia 2, osservatore 2

STIMA DEL COSTO DEGLI INTERVENTI IPOTIZZATI

La prima ipotesi di intervento simulata non comporta la sostituzione delle lampade attualmente installate, per questo motivo non si ha un risparmio energetico rispetto alla situazione attuale. D'altra parte, avendo adottato una versione bi-regime 50-70 W, si ha un risparmio energetico dovuto all'abbassamento del flusso luminoso nelle ore in cui il traffico è minore. Gli apparecchi della Gewiss riducono, inoltre, la percentuale di inquinamento luminoso R_n fino allo 0.05%, rispetto all'1.84% che si aveva con gli apparecchi della Faeber.

Per quanto riguarda la stima del costo totale dell'intervento ipotizzato, si ha che il costo di listino, IVA esclusa, desumibile dal catalogo Gewiss di ciascun apparecchio è pari a € 219,00. Considerando che in totale nelle tre vie si hanno 126 apparecchi, la spesa per l'acquisto sarebbe pari a € 27.594,00, ai quali si dovrebbe aggiungere il costo dei pali di alluminio, che è di circa € 120,00/cad, degli sbracci di via Firenze e di via Buozzi, i quali hanno un prezzo di listino intorno a € 60,00/cad e le spese di manodopera (tab. 4.). In totale il costo per realizzare questo progetto sarebbe di circa € 47.694, IVA esclusa, alle quali si dovranno sommare le spese di manodopera.

Come visto, pur migliorando i parametri illuminotecnici, la prima ipotesi di progetto non soddisfa pienamente i requisiti dettati dalla normativa UNI EN 13201-2. Con la seconda, invece, i valori rispettano la normativa vigente. Per la stima dei costi necessari per effettuare questo tipo di intervento in tutte e tre le vie prese in esame, bisogna tenere conto che devono essere aggiunti dall'altro lato della carreggiata in totale 125 apparecchi, e che si rende necessaria un'altra linea elettrica per il collegamento di tali apparecchi. Il costo di listino, IVA esclusa, ricavabile dal catalogo Faeber, di un singolo apparecchio è di € 171,00 IVA esclusa che,

moltiplicato per i 125 apparecchi necessari, porta ad una spesa di €21.375, ai quali si dovrebbero aggiungere € 15.000 per i pali. In definitiva il costo complessivo per questo intervento, sarebbe di circa €36.375, alle quali andrebbero sommate le spese di manodopera per il montaggio degli apparecchi e per la realizzazione di una nuova linea elettrica dall'altro lato della carreggiata, dei materiali necessari a tale lavoro e il costo delle 125 lampade, che è di € 2.250,00.

Considerando che in questa ipotesi di progetto, rispetto alla prima, vi è in più la spesa per la realizzazione della rete elettrica per l'allaccio degli apparecchi, si può dedurre il costo per l'esecuzione di questo intervento sia, tra i due, quello superiore. D'altra parte, però, bisogna valutare il fatto che nella prima ipotesi di intervento non si avrebbe il rispetto dei valori limite dettati dalla normativa per tutti i parametri illuminotecnici. In conseguenza a ciò, quindi, si potrebbe affermare, che la migliore delle soluzioni simulate in questo lavoro di tesi, si ha variando la disposizione degli apparecchi sulla carreggiata. In questo modo tutti i parametri illuminotecnici rispetterebbero la normativa UNI EN 13201-2, così da avere una visibilità ottimale da parte di tutti gli utenti della strada, che significa anche una maggior sicurezza per gli stessi.

Tabella 4: Riepilogo dei costi degli interventi (escluso manodopera, materiali per nuova linea elettrica, IVA)

IPOTESI DI INTERVENTO 1			
	N°	COSTO UNITARIO (€)	TOTALE (€)
APPARECCHI	126	219,00	27.594,00
SBRACCI	83	60,00	4.980,00
PALI	126	120,00	15.120,00
COSTO TOTALE (€)			**47.694,00**
IPOTESI DI INTERVENTO 2			
	N°	COSTO UNITARIO (€)	TOTALE (€)
APPARECCHI	125	171,00	21.375,00
SBRACCI	/	/	/
PALI	125	120,00	15.000,00
LAMPADE	125	18,00	2.250,00
COSTO TOTALE (€)			**38.625,00**

CONCLUSIONI

A conclusione della stesura del Piano di Illuminazione del Comune di Castiglione del Lago è emersa la necessità di analizzare lo stato attuale dell'illuminazione pubblica delle tre vie principali di accesso al centro abitato, effettuando delle simulazioni con un software dedicato. L'obiettivo di tali simulazioni è quello di individuare i valori dei parametri illuminotecnici, in modo tale da poterli confrontare con le normative vigenti in materia di illuminazione stradale.

Poiché il Comune di Castiglione del Lago ha provveduto alla sostituzione delle lampade degli apparecchi illuminanti, sono state effettuate due diverse simulazioni: la prima ha riguardato lo stato ante-operam, mentre la seconda ha analizzato la situazione post-operam.

Dopo analizzato i risultati prodotti dal LITESTAR 10.0, si è proceduto al confronto di entrambe le simulazioni con la normativa UNI EN 13201-2; avendo osservato che i parametri illuminotecnici non soddisfano i requisiti limite della norma, si è deciso di cercare altre soluzioni progettuali. Sono state, pertanto, proposte due ipotesi di intervento: nella prima è stata prevista la sostituzione degli apparecchi attualmente in opera con altri di ultima generazione (sono stati scelti i dispositivi della Gewiss); nella seconda è stata modificata la disposizione geometrica degli apparecchi già in uso (Faeber K1).

Confrontando i parametri illuminotecnici ottenuti dalle due ipotesi di intervento con la normativa UNI EN 13201-2 si nota che, nella prima serie di simulazioni non sempre i valori limite sono rispettati mentre, modificando la disposizione degli apparecchi sulla carreggiata, si ottengono dei risultati in linea con la normativa.

Per entrambe le situazioni è stata realizzata una stima dei costi di intervento, dalla quale è risultato che, per cambiare disposizione geometrica agli apparecchi, è necessaria una spesa maggiore. Ciò deriva dal fatto che si rende necessaria una nuova linea elettrica, che porti tensione nella corsia dove attualmente non vi sono apparecchi stradali. In virtù di queste considerazioni si evince che la soluzione migliore, tra quelle analizzate, è quella di disporre gli apparecchi su due file a quinconce, così da ottenere il rispetto della normativa e raggiungere una visibilità ottimale da parte degli utenti della strada.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Legge Regionale n. 20 del 28 febbraio 2005, *Norme in materia di prevenzione dall'inquinamento luminoso e risparmio energetico*.
2. Regolamento Attuativo del 5 aprile 2007 della Legge Regionale n. 20 del 28 febbraio 2005.
3. Norma UNI EN 13201- 2:2004, *Illuminazione stradale, requisiti prestazionali*.
4. Norma UNI EN 13201- 3:2004, *Illuminazione stradale, calcolo delle prestazioni*.
5. Norma UNI 11248:2007, *Illuminazione stradale, selezione delle categorie illuminotecniche*.
6. Norma UNI 10819:1999, *Impianti di illuminazione esterna. Requisiti per la dispersione verso l'alto del flusso luminoso*.
7. Manuale d'uso LITESTAR 10.0.
8. Catalogo tecnico e listino prezzi Faeber.
9. Catalogo tecnico e listino prezzi Gewiss.