

## **RISPARMIO ENERGETICO E USO RAZIONALE DELL'ILLUMINAZIONE: IL CASO DELLA ROCCA DI BRACCIO DEL COMUNE DI MONTONE - PERUGIA**

Rita Mariani, Cinzia Buratti

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

### **SOMMARIO**

Tra le diverse forme di inquinamento, quello luminoso è certamente il meno conosciuto; per inquinamento luminoso si intende l'alterazione dei livelli di luce naturalmente presenti nell'ambiente notturno. Questa alterazione, più o meno elevata a seconda delle località, provoca danni di diversa natura: ambientali, culturali ed economici. Il controllo dell'inquinamento luminoso è inoltre strettamente correlato al risparmio energetico nell'illuminazione di esterni.

Nel presente lavoro si affronta il tema dell'illuminazione di aree esterne di interesse paesaggistico e storico – artistico, argomento complesso in quanto racchiude molteplici aspetti di carattere non solo tecnico, ma anche estetico ed interpretativo. La Rocca di Braccio, oggetto del progetto illuminotecnico, è situata sulla sommità del colle sul quale sorge il borgo medievale di Montone, un comune dell'Alta Valle del Tevere; fu costruita presumibilmente intorno al 900 d.C.. Partendo dall'analisi storica della struttura e dalle funzioni che attualmente svolge, il progetto dell'impianto di illuminazione è stato guidato dai seguenti obiettivi:

- ridotto consumo di energia elettrica;
- riduzione degli interventi di manutenzione, con conseguente riduzione del consumo di energia primaria da fonti fossili;
- controllo dell'inquinamento luminoso;
- valorizzazione dell'area di intervento;
- fruibilità di una struttura polifunzionale in diverse situazioni di impiego.

Il carattere polifunzionale della struttura ha condotto, in fase di studio del progetto, alla possibilità di formulare due diverse ipotesi, che si differenziano per soluzioni tecnologiche ed estetiche adottate. Le soluzioni progettuali sviluppate sono state verificate con l'ausilio del codice di calcolo Litestar 9.0; entrambe rispettano i parametri imposti dalla Legge Regionale dell'Umbria e dalle Norme UNI in materia di inquinamento luminoso.

### **INTRODUZIONE**

L'inquinamento luminoso è stato definito dall'ISTIL (Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso) come "l'alterazione della quantità naturale di luce presente nell'ambiente notturno provocata dall'emissione di luce artificiale", o anche "ogni forma di irradiazione di luce artificiale diretta verso la volta celeste, al di sopra della linea di orizzonte".

A livello legislativo, solo negli ultimi anni si sta affrontando il tema dell'inquinamento luminoso; tuttora esistono tuttavia soltanto proposte di legge nazionali, mentre molte Regioni italiane si sono dotate di apposite leggi a riguardo.

La salvaguardia della visione del cielo notturno si coniuga bene con aspetti che riguardano il risparmio energetico e l'efficienza degli impianti di illuminazione, ampiamente trattati dalla legislazione sia nazionale che regionale, soprattutto sotto la spinta degli obiettivi individuati dal Protocollo di Kyoto per la riduzione delle emissioni di gas climalteranti.

In questo contesto si colloca il presente lavoro, che tratta il tema dell'illuminazione di aree esterne di interesse paesaggistico e storico – artistico, in particolare della Rocca del Comune di Montone (Perugia), non soltanto da un punto di vista estetico, al fine di valorizzare l'opera per mezzo dell'impianto di illuminazione, ma anche ponendo attenzione al risparmio energetico e al contenimento dell'inquinamento luminoso entro i limiti di legge.

Dopo l'analisi dello stato attuale dell'impianto di

illuminazione, sono state proposte due ipotesi di intervento, che si differenziano per soluzioni tecnologiche ed estetiche adottate.

I parametri imposti dalla Legge Regionale dell'Umbria e dalle Norme UNI in materia di inquinamento luminoso sono stati verificati per mezzo del codice di calcolo Litestar 9.0; mediante tale programma è stato altresì possibile ottenere i valori di illuminamento su piani di lavoro prefissati e delle immagini fotorealistiche dell'ambiente illuminato.

### **1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

In Umbria, la Legge n. 20 del 28 Febbraio 2005 "Norme in materia di prevenzione dell'inquinamento luminoso e risparmio energetico" [1] e il Regolamento Attuativo del 5 Aprile 2007 [2] sanciscono i principi per la tutela del cielo notturno e il risparmio energetico e stabiliscono i parametri fondamentali per la realizzazione, la gestione e l'adeguamento degli impianti di illuminazione esterna.

Ai fini del presente lavoro, si riportano gli aspetti salienti della Legge Regionale e del Decreto Attuativo, che hanno permesso di effettuare delle valutazioni in merito agli interventi proposti per l'illuminazione della Rocca del Comune di Montone, sia in termini di risparmio energetico che di inquinamento luminoso.

L'Allegato A alla Legge Regionale fornisce l'elenco degli Osservatori astronomici professionali e non; l'impianto da progettare rientra nella zona 2 (zona intorno ad osservatori astronomici di rilievo nazionale,  $r = 5$  km, 10 km, 15 km, 25

km) poiché si trova a 5 km di distanza dall'Osservatorio professionale di Coloti ed è classificato di tipo C (impianto di interesse ambientale e monumentale). L'impianto pertanto è vincolato ad avere un valore di intensità luminosa massima di 100 cd/klm, misurata oltre il contorno dell'opera.

Inoltre il Regolamento Attuativo, per questa tipologia di impianto prevede che:

- il flusso luminoso non intercettato dalle superfici illuminate non superi il 10% del flusso totale emesso dagli apparecchi;
- la luminanza sia commisurata a quella dell'ambiente circostante e non sia più del triplo di quella degli oggetti circostanti che rientrano nel campo visivo dell'osservatore, valutando il campo visivo in relazione ai punti di osservazione più significativi dell'oggetto;
- gli impianti debbano essere spenti dopo le ore una di notte.

In alternativa alla valutazione del flusso luminoso non intercettato dalle superfici illuminate, è possibile valutare il rapporto medio di emissione superiore  $R_n$ , definito dalla UNI 10819, il quale deve essere inferiore al 5% [3].

Per quanto riguarda l'efficienza delle lampade, il Regolamento Attuativo prevede per i centri storici, come nel caso in oggetto, l'impiego di lampade:

- con efficienza almeno pari a 60 lm/W per potenze fino a 50 W;
- con efficienza almeno pari a 80 lm/W per potenze superiori a 50 W.

## 2. LA ROCCA DI BRACCIO DEL COMUNE DI MONTONE: STATO ATTUALE DELL'IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

Montone è un piccolo borgo medievale situato in Provincia di Perugia, nell'Alta Valle del Tevere, abitato da circa 1.500 persone, con una superficie che supera di poco i 50 km<sup>2</sup>. La Rocca di Braccio si trova sulla sommità del colle sul quale sorge il borgo e risale presumibilmente al 900 d.C. (fig. 1).

Ciò che resta della Rocca, parzialmente distrutta a seguito di un incendio nel 1478, è una porzione di mura perimetrali interrotte da piccole feritoie e disposte secondo uno schema geometrico irregolare [4, 5, 6]. Sul lato che si affaccia sulla parte abitata del colle è possibile individuare le due porte di accesso: la principale, di cui restano le colonne portanti, e la secondaria, interamente conservata e incorniciata da un arco a tutto sesto.

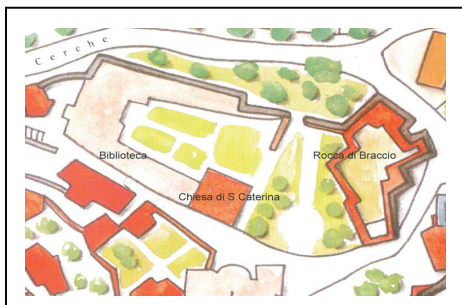


Figura 1: Mappa Comunale dei ruderi della Rocca.

La zona est della Rocca è attualmente adibita a parco pubblico, così come la parte antistante la porta d'accesso, mentre nella restante area è stato realizzato una sorta di palcoscenico, con una copertura in legno, che nella stagione estiva ospita manifestazioni teatrali e culturali (figg. 2 e 3).



Figura 2: Belvedere visto dalla porta di ingresso della Rocca



Figura 3: Palcoscenico

L'aspetto illuminotecnico appare un po' trascurato; la situazione attuale non consente infatti nelle ore notturne di poter apprezzare l'architettura della Rocca. L'illuminazione, che interessa solo la parte interna, è esclusivamente di tipo diffuso ed è garantita da due lanterne in ferro battuto che si accordano allo stile di quelle presenti nel resto del paese. Il palcoscenico è illuminato da due proiettori indipendenti, utilizzati solo in occasione delle manifestazioni.

Obiettivo del presente lavoro è stato il progetto dell'impianto di illuminazione, al fine di valorizzare la struttura, riducendo al tempo stesso i consumi energetici, nel rispetto della Legge Regionale vigente in materia di inquinamento luminoso.

## 3. GLI INTERVENTI PROPOSTI

Le risorse innovative che oggi la tecnologia mette a disposizione consentono di conciliare i diversi obiettivi del lavoro, ottenendo risultati apprezzabili sia dal punto di vista scenografico che da quello dell'efficienza energetica globale.

Le ipotesi progettuali sono state formulate tenendo conto del carattere polifunzionale della struttura: edificio storico, ma anche presenza di un'area verde e di una zona adibita a teatro; tale molteplicità necessariamente comporta da parte dei cittadini e dei visitatori impieghi ed interpretazioni differenti di uno stesso spazio.

Considerando questo aspetto, sono state sviluppate due ipotesi, diverse per soluzioni tecnologiche ed estetiche adottate, la prima a carattere più innovativo, la seconda di stampo tradizionale.

Nella formulazione delle ipotesi progettuali si è tenuto conto di quanto imposto dal Regolamento Attuativo della Legge Regionale dell'Umbria e delle relative Norme di riferimento.

Nella prima ipotesi di progetto lo spazio interno alle mura della Rocca è stato suddiviso in tre zone, caratterizzate da tre diverse modalità di illuminazione:

- nell'area verde le lanterne esistenti sono state sostituite con

lanterne di moderna concezione, esteticamente molto simili a quelle già installate, ma realizzate in modo da avere un'emissione luminosa verso l'alto pressochè nulla. Il posizionamento ha rispettato quello originario, che consente di non effettuare interventi sull'impianto elettrico e di illuminare soffusamente la parte centrale della struttura. Le sorgenti luminose associate a questi due apparecchi sono lampade al sodio a bassa pressione, scelte per l'elevata efficienza e durata;

- nella zona del belvedere, delimitata da mura dell'altezza di 1.25 m, sono stati adottati proiettori da incasso a pavimento orientabili, puntati in direzione delle mura, in modo tale che il flusso luminoso rispetti il valore imposto dal Regolamento Attuativo. Gli apparecchi scelti non sono invasivi e la loro collocazione, all'interno di una superficie coperta di ghiaia, consente di non intaccare la struttura delle mura e al tempo stesso di metterle in risalto. Lo stesso tipo di apparecchi è stato utilizzato per la porzione di mura che dal palcoscenico corre verso la porta di ingresso. Sono state adottate sorgenti di luce a LED con regolazione del flusso luminoso, poiché consentono di ottenere buoni risultati dal punto di vista dell'illuminamento, a fronte di una bassa potenza impegnata;
- nella zona adibita a teatro estivo si è cercato di dare risalto sia alle mura che alla scena teatrale; sono stati scelti tre proiettori asimmetrici ancorati alla travatura che sostiene la passerella, due puntati verso le mura, il terzo verso il centro del palcoscenico. Le sorgenti luminose adottate sono lampade al sodio ad alta pressione, munite di regolatore di flusso luminoso. Per segnalare la pedana di legno che conduce al palcoscenico, sono stati utilizzati segnapasso da incasso al LED, con potenza inferiore rispetto a quelli montati sui faretti.

La figura 4 mostra il posizionamento degli apparecchi illuminanti scelti nella prima ipotesi progettuale, le figure 5-8 le immagini degli apparecchi e le relative curve fotometriche.

La seconda ipotesi progettuale formulata impiega nella zona del belvedere apparecchi e sorgenti illuminanti di tipo tradizionale (fig. 8), simili a quelli presenti nel resto del borgo; laddove in corrispondenza delle mura nella prima ipotesi era presente l'illuminazione a LED, sono stati impiegati i proiettori mostrati in fig. 9; nella zona del teatro si è sfruttata la soluzione illustrata nella prima ipotesi.

La figura 10 mostra il posizionamento degli apparecchi scelti nella seconda proposta di intervento.

Tutti gli apparecchi scelti, non a LED, sono equipaggiati con lampade al sodio ad alta pressione. Le principali caratteristiche delle sorgenti luminose impiegate nelle due ipotesi sono illustrate nella tabella 1.

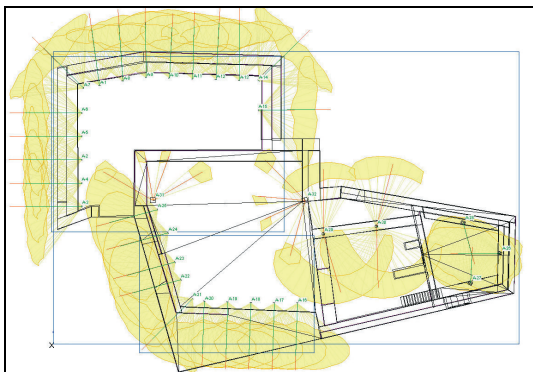


Figura 4: Ipotesi 1 - Posizionamento degli apparecchi

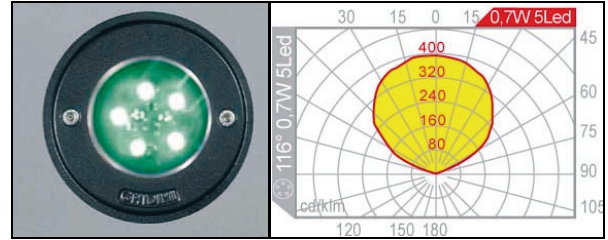


Figura 5: Immagine del faretto a LED e relativa curva fotometrica

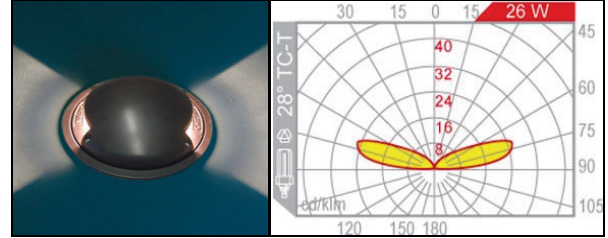


Figura 6: Immagine dell'apparecchio segnapasso e relativa curva fotometrica

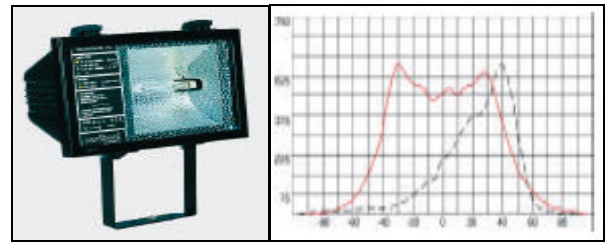


Figura 7: Immagine del proiettore e relativa curva fotometrica

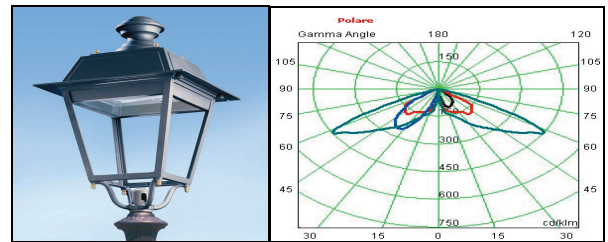


Figura 8: Immagine della lanterna e relativa curva fotometrica

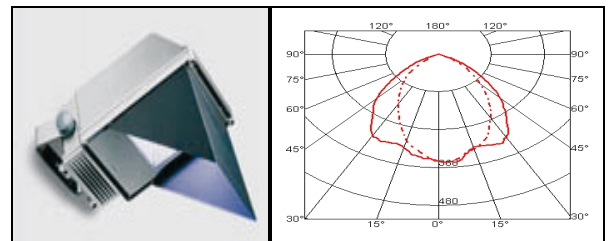


Figura 9: Immagine del proiettore asimmetrico e relativa curva fotometrica

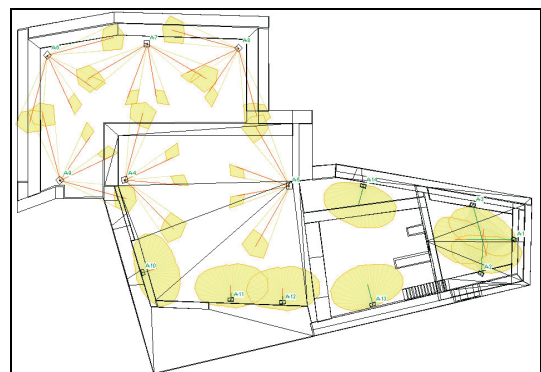


Figura 10: Ipotesi 2 - Posizionamento degli apparecchi

Tabella 1: Caratteristiche delle sorgenti luminose impiegate

Tipologia Apparecchio	Tipologia Lampada	Potenza (W)	$\Phi$ (lm)	$\eta$ (lm/W)	Durata (h)
Lanterne	SAP	70	5.600	80	18.000
Faretti da incasso	LED	3.5	60	17	100.000
Segnapasso	LED	2	23	12	100.000
Proiettori teatro	SAP	50	3.500	70	18.000
Proiettori mura	SAP	70	5.600	80	18.000

#### 4. LE SIMULAZIONI EFFETTUATE

Gli interventi proposti sono stati verificati per mezzo di simulazioni effettuate con il codice di calcolo Litestar 9.0 [7]; è stato così possibile determinare i valori di illuminamento su piani di lavoro assegnati, il valore di luminanza in una determinata direzione, rispetto ad una posizione di osservazione e valutare l'inquinamento luminoso, secondo i parametri della UNI 10819.

Dopo la costruzione del modello tridimensionale, l'assegnazione delle caratteristiche dei materiali presenti in termini di coordinate tricromatiche e rugosità, l'inserimento degli apparecchi e delle lampade descritte, sono stati ottenuti i risultati illustrati nel seguito.

##### IPOTESI 1

###### Illuminamento

Sono stati scelti due piani di lavoro, uno all'altezza del suolo, l'altro ad una altezza rappresentativa dello sguardo di una persona di media statura (1.65 m); i risultati sono mostrati nella tabella 2.

Tabella 2: Valori di illuminamento sui piani di lavoro

Piano di lavoro	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{med}$ (lux)
Suolo	1	90	16
1.65 m	0	100	15

Sul piano di lavoro a 1.65 m si ha una distribuzione non uniforme dell'illuminamento: il belvedere risulta caratterizzato da illuminamento molto basso, risultato voluto, in quanto si desiderava una illuminazione che consentisse la visione degli ostacoli, ma anche quella del cielo notturno.

###### Luminanza

La valutazione è stata effettuata ponendo il punto di osservazione nella zona antistante il palcoscenico, ad una altezza di 1.65 m, con direzione di osservazione rivolta verso il belvedere, al fine di valutare la percezione visiva che si ha di questa zona. Le curve ottenute mostrano valori di luminanza piuttosto bassi, con un valore massimo di 3.8 cd/m<sup>2</sup>, molto inferiore a quello massimo previsto dalla UNI 10819 di 100 cd/m<sup>2</sup> oltre la superficie da illuminare.

###### Inquinamento luminoso

Poiché in questa ipotesi le sole sorgenti luminose che possono causare inquinamento luminoso sono i faretti (illuminazione dal basso verso l'alto), mentre le altre sorgenti sono schermate con ottiche antinquinamento luminoso (fig. 8), come prescritto dal Regolamento Attuativo, è stato valutato il flusso luminoso emesso da queste sorgenti che non intercetta le superfici illuminate. Sono quindi stati definiti due ulteriori piani di lavoro di dimensioni opportune, uno relativo alle mura del belvedere (1.25 m), l'altro relativo alle mura che dal palcoscenico corrono verso la porta di ingresso della Rocca (altezza massima 3.10 m).

La L.R. prescrive che il flusso luminoso che non intercetta le superfici da illuminare sia al massimo pari al 10% di quello che le intercetta; per valutare tale percentuale sono stati considerati i valori al suolo e sui piani di lavoro suddetti, calcolando il flusso luminoso dai valori di illuminamento ottenuti dalla simulazione. A parità di area considerata per i due piani di lavoro, il flusso luminoso può essere valutato per mezzo dell'illuminamento (tab. 3).

Le figure 11 e 12 mostrano alcuni rendering della prima soluzione progettuale proposta.

Tabella 3: Ipotesi 1 – Valutazione dell'inquinamento luminoso

	Piano di lavoro			
	Suolo (A <sub>1</sub> )*	1.25 m (A <sub>1</sub> )*	Suolo (A <sub>2</sub> )*	3.10 m (A <sub>2</sub> )*
$E_{med}$ (lux)	1.06	0.06	2	0.1
	$\Delta E = 5.9\%$	$< 10\%$	$\Delta E = 5.0\%$	$< 10\%$

\* A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub> sono le superfici considerate nel piano di lavoro

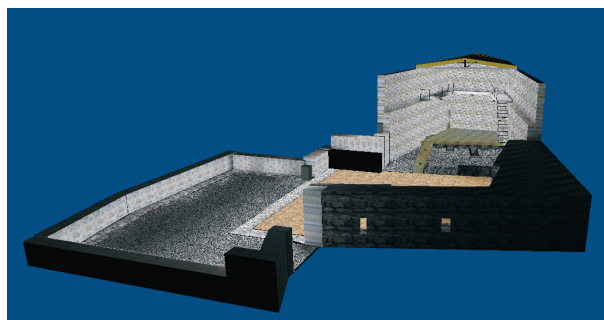


Figura 11: Ipotesi 1 - Vista globale della Rocca illuminata

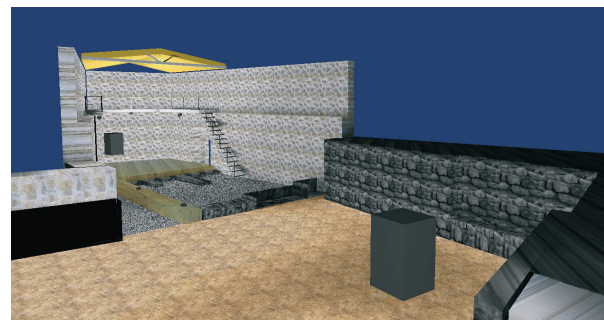


Figura 12: Ipotesi 1 - Vista della zona del teatro estivo illuminato

##### IPOTESI 2

###### Illuminamento

I valori di illuminamento sono stati valutati sugli stessi piani di lavoro considerati nella prima ipotesi; la tabella 4 illustra i risultati ottenuti.

Tabella 4: Valori di illuminamento sui piani di lavoro

Piano di lavoro	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{med}$ (lux)
Suolo	0	410	36
1.65 m	0	640	40

Su entrambi i piani di lavoro la distribuzione della luce risulta abbastanza uniforme; solo in corrispondenza dei proiettori si ha una concentrazione dell'intensità luminosa.

###### Luminanza

La luminanza è stata valutata in modo analogo al caso precedente; è stato ottenuto un valore massimo di 56 cd/m<sup>2</sup>, inferiore a 100 cd/m<sup>2</sup> previste dalla UNI 10819.

###### Inquinamento luminoso

In questo caso, per la tipologia di illuminazione proposta, è stato possibile valutare l'inquinamento luminoso tramite il rapporto medio di emissione superiore  $R_n$ , calcolo effettuato

direttamente dal programma.

Nella simulazione sono stati spenti i due proiettori che illuminano la parte coperta del piccolo teatro e il valore ottenuto di  $R_n$  è stato pari a 0.23%, inferiore al valore massimo imposto dalla norma UNI 10819, pari al 5%.

Le figure 13 e 14 mostrano alcuni rendering della seconda soluzione progettuale proposta.

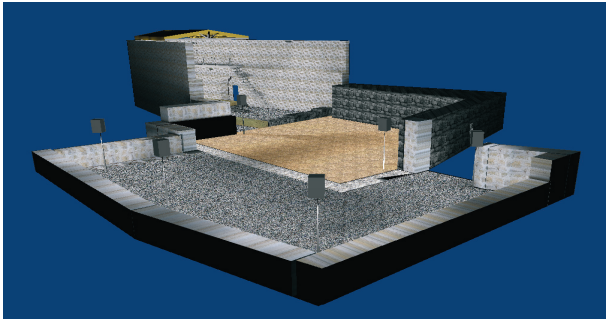


Figura 13: Ipotesi 2 - Vista globale della Rocca illuminata

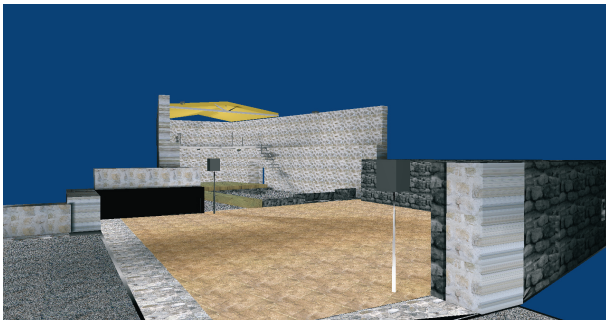


Figura 14: Ipotesi 2 - Vista della zona del teatro estivo illuminato

## 5. ANALISI ENERGETICA ED ECONOMICA DEGLI INTERVENTI PROPOSTI

Poiché l'illuminazione attuale risulta carente, è poco utile effettuare una analisi energetica ed economica; le due soluzioni proposte sono pertanto state confrontate soltanto tra di loro.

La tabella 5 riporta, per entrambe le soluzioni, la potenza utilizzata da ciascuna sorgente luminosa a regime e la potenza totale impegnata.

Tabella 5: Potenza impegnata

IPOTESI 1			
Tipologia Sorgente	Potenza (W)	Numero sorgenti	Potenza totale (W)
5 LED da 0.5 W	3,5	25	87,5
2 LED da 1 W	2	2	4,0
SAP	50	3	150,0
SAP	70	2	140,0
		<b>Totale</b>	<b>381,5</b>
IPOTESI 2			
Tipologia Sorgente	Potenza (W)	Numero sorgenti	Potenza totale (W)
SAP	70	11	770
SAP	50	3	150
		<b>Totale</b>	<b>920</b>

Nella valutazione dei costi non si è tenuto conto di quelli relativi alla rete elettrica, in quanto già presente, alla posa in opera dei cavi e al montaggio dei corpi illuminanti, in quanto paragonabili tra le due soluzioni.

Per i costi dei materiali si è fatto riferimento al Prezziario

Regionale 2006 e ai prezzi di vendita indicati dai listini di alcuni produttori, al netto dell'IVA; sono inoltre stati valutati i costi di esercizio dell'impianto in base alla tariffa Enel per la pubblica illuminazione.

Si è ipotizzato un funzionamento annuo di 2300 ore, suddividendo l'anno solare in due semestri, estivo e invernale; per il funzionamento estivo si è supposta l'accensione alle 19.30 e lo spegnimento alle ore 1.00, come imposto dal R.A., per il funzionamento invernale l'accensione è stata anticipata alle 17.30.

Nel calcolo della potenza impegnata si è tenuto conto delle perdite che si hanno nei circuiti ausiliari delle lampade al sodio ad alta pressione, stimate intorno al 5% della potenza della lampada; per i circuiti ausiliari dei LED queste perdite sono ininfluenti.

Per quanto riguarda i costi relativi agli interventi di manutenzione, questi saranno sicuramente minori nella prima soluzione, data la maggiore durata dei LED rispetto alle lampade al sodio.

Le tabelle 6 - 9 riportano un prospetto riassuntivo dei costi dei materiali e dei costi di esercizio per entrambi gli interventi proposti.

A fronte di un costo iniziale per i materiali simile nelle due soluzioni, i costi annui di esercizio sono notevolmente diversi: adottando la prima soluzione si può conseguire infatti un risparmio del 59% rispetto alla seconda soluzione.

Tabella 6: Ipotesi 1 - Costo dei materiali

IPOTESI 1 - COSTO DEI MATERIALI			
Descrizione	Costo unitario (€)	Quantità	Costo totale (€)
Faretti da incasso comprensivi di LED	100,00	27	2700,00
Apparecchi illuminanti tipo lanterna	550,00	2	1100,00
Sostegni in acciaio zincato verniciato per lanterne	94,00	2	188,00
Proiettori in pressofusione di alluminio	98,00	3	294,00
Lampade SAP fino a 70 W	29,00	5	145,00
Alimentatore per LED	35,00	27	945,00
		<b>Totale</b>	<b>5.561,50</b>

Tabella 7: Ipotesi 1 - Costi di esercizio

IPOTESI 1 - COSTI DI ESERCIZIO			
Potenza totale utilizzata (kW)	Potenza totale corretta (kW)	Consumo annuo (kWh/anno)	Costo (€/anno)
0,382	0,397	912	105

Tabella 8: Ipotesi 2 - Costo dei materiali

IPOTESI 2 - COSTO DEI MATERIALI			
Descrizione	Costo unitario (€)	Quantità	Costo totale (€)
Apparecchi illuminanti tipo lanterna	550,00	6	3300,00
Sostegni in acciaio zincato verniciato per lanterne	94,00	6	564,00
Proiettori in pressofusione di alluminio	98,00	3	294,00

(continua)

(continua da pagina precedente)

Proiettori in pressofusione di alluminio di tipo cut-off	150	5	750,00
Lampade SAP fino a 70 W	29,00	14	406,00
Alimentatore per lampada SAP fino a 70 W	37,90	14	530,60
		<b>Totale</b>	<b>5.844,60</b>

Tabella 9: Ipotesi 2 - Costi di esercizio

<b>IPOTESI 2 – COSTI ID ESERCIZIO</b>			
<b>Potenza totale utilizzata (kW)</b>	<b>Potenza totale corretta (kW)</b>	<b>Consumo annuo (kWh/anno)</b>	<b>Costo (€/anno)</b>
0,920	0,966	2.222	<b>256</b>

## CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stato affrontato il tema dell'illuminazione di aree esterne di interesse paesaggistico e storico – artistico, argomento complesso in quanto racchiude molteplici aspetti di carattere non solo tecnico, ma anche estetico ed interpretativo; in particolare oggetto del progetto illuminotecnico è stata la Rocca di Braccio situata nel Comune di Montone, in Provincia di Perugia.

Attualmente l'illuminazione della Rocca di Braccio risulta carente, pertanto sono stati proposti due interventi diversi per la scelta dell'elemento da porre in risalto e per i sistemi illuminanti adottati.

Sebbene i principi guida del progetto siano gli stessi, una diversa interpretazione del luogo e della sua funzione ha portato a definire due soluzioni che, per caratteristiche tecnologiche ed estetiche, sono sostanzialmente diverse e rappresentano due dei possibili modi di far rivivere un luogo antico, a conferma del fatto che la luce è un elemento costruttivo e architettonico versatile.

La principale differenza tra le due soluzioni proposte consiste nel fatto che nella prima ipotesi si prevede l'impiego di faretti a LED, che hanno la funzione di mettere in risalto le mura perimetrali, mentre nella seconda ipotesi l'illuminazione a LED è sostituita dall'impiego di lanterne e proiettori tradizionali, che permettono di usufruire della Rocca come area verde vera e propria.

In entrambi i casi la progettazione ha tenuto conto della Legge Regionale n. 20 del 2005 sull'Inquinamento Luminoso e sul Risparmio Energetico e del Regolamento Attuativo n. 2 del 2007. Sono state scelte lampade al sodio ad alta pressione, caratterizzate da efficienza almeno pari a quanto prescritto dal Regolamento, e apparecchi illuminanti schermati per limitare la dispersione del flusso luminoso verso l'alto. Tutti gli apparecchi sono inoltre dotati di regolatori di flusso.

Per mezzo di simulazioni effettuate con il programma

Litestar, è stato possibile verificare la bontà delle soluzioni proposte in termini di illuminamento, luminanza e inquinamento luminoso. In entrambi i casi sono stati ottenuti risultati soddisfacenti.

E' stata inoltre effettuata una analisi energetica ed economica degli interventi proposti; la prima ipotesi progettuale impegna una potenza totale di 382 W, grazie all'impiego di lampade al LED, la seconda una potenza totale di 920 W.

A fronte di un costo iniziale per i materiali paragonabile, i costi di esercizio sono notevolmente inferiori nella prima ipotesi e permettono un risparmio del 59% rispetto all'adozione della seconda ipotesi; i costi di manutenzione risultano inoltre inferiori nella prima ipotesi in quanto i LED hanno una durata dichiarata dal costruttore di 100.000 h, contro le 18.000 h delle lampade al sodio ad alta pressione.

La scelta della tipologia di intervento, oltre che da considerazioni di carattere energetico ed economico, dipende dunque dal ruolo che l'Amministrazione Comunale intende conferire alla Rocca di Braccio, in termini di valorizzazione dell'aspetto storico – artistico o di fruizione dell'area verde anche nelle ore notturne.

## ELENCO DEI SIMBOLI

- A =superficie (m<sup>2</sup>);
- E = illuminamento (lux);
- SAP= sodio alta pressione;
- Φ = flusso luminoso (lm);
- η = efficienza (lm/W).

## BIBLIOGRAFIA

1. Legge Regionale n. 20 del 28 febbraio 2005: Norme in materia di prevenzione dall'inquinamento luminoso e risparmio energetico.
2. Regolamento Attuativo n. 2 della Legge regionale n. 20 del 5 aprile 2007.
3. UNI 10819: Luce e illuminazione - Impianti di illuminazione esterna - Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso, 1999.
4. A. Ascani, Montone. La patria di Braccio Fortebracci, ed. GESP, Città di Castello 1992.
5. G.V. Giobbi Fortebracci, Lettera storico - genealogica della famiglia Fortebracci da Montone., Bologna 1689.
6. L. Bonazzi, Storia di Perugia dalle origini al 1860., A. C Grafiche – Città di Castello, 1983.7.
7. M. Barbanera, C. Buratti, R. Mariani, Il progetto illuminotecnico della chiesa di San Domenico a Spoleto: comfort visivo, conservazione e valorizzazione delle opere d'arte, risparmio energetico, 6° Congresso Nazionale CIRIAF, Perugia, 7 – 8 aprile 2006.