



# COMUNE DI MOLFETTA

Città Metropolitana di Bari

Via Martiri di Via Fani, 2/b, 70056 Molfetta - BA



## REALIZZAZIONE E GESTIONE DI UN PROGETTO INTEGRATO DI SISTEMI E SERVIZI TECNOLOGICI PER LA CITTÀ INTELLIGENTE PER IL COMUNE DI MOLFETTA

*Il Committente:*

**COMUNE DI MOLFETTA**

Via Martiri di Via Fani, 2/b, 70056 Molfetta - BA

*Responsabile Unico del Procedimento*

Ing. Alessandro Binetti

*Il Concessionario:*

**Melficta Intelligentes s.r.l.**

Via Sassanelli n. 42 – 70124 Bari –

P. IVA 08473960725

Pec: [melfictaintelligentes@legalmail.it](mailto:melfictaintelligentes@legalmail.it)



*Il Procuratore*

Vito Moramarco

*Le Imprese Esecutrici:*



**CREASYS S.r.l.**  
Piazza Albania  
00153 Roma RM



**Coopservice s.coop.p.A**  
Via Rochdale, 5  
42122 Reggio Emilia

*La Progettazione*



**Team di Progettazione**

Ing. Federica Fazio  
Ing. Mariabruna Cosola  
Ing. Anna Savino  
Ing. Orazio Milano  
Arch. Pasqua Ilaria Ruospo  
Arch. Nicola Sarcina  
Arch. Eleonora Capobianco

Ing. Giulio Madaro

Ing. Pierpaolo Madaro

## PROGETTO ESECUTIVO

*Descrizione:*

**IMPIANTO DI PUBBLICA ILLUMINAZIONE**

Relazione specialistica impianto di illuminazione

TAV. **R03\_01**

SCALA **-**

DATA: **LUGLIO 2022**



## COMUNE DI MOLFETTA

Città Metropolitana di Bari  
Via Martiri di Via Fani, n.2/b - 70056 Molfetta - BA

### REALIZZAZIONE E GESTIONE DI UN PROGETTO INTEGRATO DI SISTEMI E SERVIZI TECNOLOGICI PER LA CITTÀ INTELLIGENTE PER IL COMUNE DI MOLFETTA

#### Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>CLASSIFICAZIONE ILLUMINOTECNICA ED INQUINAMENTO LUMINOSO .....</b>	<b>2</b>
2.1	<i>Definizione delle categorie illuminotecniche .....</i>	<i>2</i>
2.2	<i>Definizione della categoria illuminotecnica di riferimento .....</i>	<i>4</i>
2.2.1	Definizione della categoria illuminotecnica d'ingresso .....	6
2.2.2	Definizione della categoria illuminotecnica di progetto con l'analisi dei rischi .....	9
2.2.3	Definizione delle categorie illuminotecniche di esercizio .....	10
2.2.4	Ulteriori indicazioni sull'analisi dei rischi .....	11
2.2.5	Comparazione delle categorie illuminotecniche .....	11
2.3	<i>Inquinamento luminoso.....</i>	<i>12</i>
2.3.1	Breve cenno sull'inquinamento luminoso .....	12
2.3.2	Impatto ambientale dell'inquinamento luminoso.....	14
2.4	<i>Illuminazione adattiva e telecontrollo.....</i>	<i>15</i>
2.5	<i>Classificazione illuminotecnica di progetto .....</i>	<i>16</i>
<b>3</b>	<b>RISULTATI ILLUMINOTECNICI .....</b>	<b>17</b>



## PROGETTO ESECUTIVO

### RELAZIONE SPECIALISTICA IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

#### **1 PREMESSA**

Il presente documento riporta la metodologia di calcolo e le conseguenti verifiche illuminotecniche relative al Progetto Esecutivo oggetto relativo al Progetto integrato di sistemi e servizi tecnologici per la città intelligente per il Comune di Molfetta (BA).

#### **2 CLASSIFICAZIONE ILLUMINOTECNICA ED INQUINAMENTO LUMINOSO**

La classificazione illuminotecnica del Comune di Molfetta (BA), è stata realizzata sulla base degli strumenti urbanistici vigenti in materia. In particolare, si fa riferimento al PUMS (Piano Urbano della Mobilità Sostenibile) del Comune di Molfetta, il quale contiene la classificazione funzionale degli archi della rete stradale ottenuta tramite l'analisi di diversi attributi che caratterizzano le strade da un punto di vista prestazionale (quali ad esempio il numero di corsie, i sistemi di trasporto, la velocità del flusso libero, l'estensione, etc.).

Esclusivamente per la sola progettazione dell'impianto e per i "soli fini illuminotecnici" si può adottare una diversa classificazione seguendo, per esempio, le indicazioni presenti nell'appendice informativa C della norma UNI 11248.

La norma UNI 11248 individua le prestazioni illuminotecniche degli impianti fornendo le linee guida per determinare le condizioni di illuminazione in una data "zona di studio" della strada, identificate e definite in modo esaustivo nella UNI EN 13201-2, mediante l'indicazione di una categoria illuminotecnica di progetto.

La classificazione illuminotecnica ingloba il progetto di telecontrollo punto-punto e di illuminazione adattiva, grazie ai quali è possibile ulteriore risparmio energetico e contemporaneo adempimento alle condizioni di illuminazione previste da normativa.

Per le problematiche relative al cosiddetto "inquinamento luminoso" occorre fare riferimento alla norma UNI 10819, che definisce i requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso, ed alla Legge Regionale N.15 del 23/11/2005 recante disposizioni in merito a "Misure urgenti per il contenimento dell'inquinamento luminoso e per il risparmio energetico".

##### **2.1 Definizione delle categorie illuminotecniche**

Nel corso dell'anno 2016 sono state introdotte una serie di normative nell'ambito della pubblica illuminazione e, principalmente, per quanto riguarda la classificazione delle strade.

In particolare, la pubblica illuminazione deve rispettare le seguenti quattro norme essenziali che, nel corso del 2016, sono state aggiornate:

- UNI 11248 (novembre 2016): "Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche";
- UNI EN 13201-2 (febbraio 2016): "Illuminazione stradale - Parte 2: Requisiti prestazionali";
- UNI EN 13201-3 (febbraio 2016): "Illuminazione stradale - Parte 3: Calcolo delle prestazioni";
- UNI EN 13201-4 (febbraio 2016): "Illuminazione stradale - Parte 4: Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche".



A queste occorre tenere in considerazione anche le seguenti norme tecniche di recente entrata in vigore:

- UNI 11630 (marzo 2016): “Luce e illuminazione stradale: Criteri per la stesura del progetto illuminotecnico”;
- UNI EN 13201-5 (febbraio 2016): “Illuminazione stradale - Parte 5: Indicatori delle prestazioni energetiche”.

La norma UNI 11248:2016 descrive e prescrive una metodologia progettuale secondo la quale, a partire da dati associati al tipo di strada che rappresentano i valori di ingresso per la procedura, consente di attribuire ciascuna strada alla categoria illuminotecnica adeguata. Tale metodologia è basata su un procedimento sottrattivo che, a seguito di un’analisi dei rischi con cui il progettista valuta i parametri di influenza, permette di individuare sia la categoria illuminotecnica di progetto sia quelle di esercizio.

La norma fornisce elementi per:

- come classificare una zona esterna destinata al traffico, “zona di studio”, al fine di determinare la categoria illuminotecnica di ingresso;
- procedura di selezione delle categorie illuminotecniche di progetto e di esercizio, nota la categoria illuminotecnica di ingresso;
- l’ottimizzazione dei consumi energetici e, conseguentemente, della riduzione dell’impatto ambientale e dell’inquinamento luminoso;
- la comparazione tra varie serie di categorie illuminotecniche;
- la valutazione delle intersezioni stradali con l’introduzione di prescrizioni sulla determinazione delle zone di studio e di griglie di calcolo integrative rispetto a quelle considerate nella norma UNI EN 13201-3:2016;
- l’applicazione delle metodologie di misurazione descritte nella UNI EN 13201-4:2016;
- la selezione delle caratteristiche fotometriche delle pavimentazioni stradali di riferimento funzionali ai calcoli illuminotecnici;
- la valutazione dei sistemi di illuminazione adattivi TAI (Traffic Adaptive Installation) e FAI (Full Adaptive Installation);
- la valutazione dell’illuminazione delle piste ciclabili e dei marciapiedi.

La presente norma non tratta:

- dei criteri per decidere se una strada deve essere illuminata;
- dell’impianto elettrico;
- della determinazione delle condizioni di illuminazione per tutti i casi in cui esistono norme UNI pertinenti;
- delle modalità di manutenzione degli impianti di illuminazione.

Un impianto di illuminazione può illuminare parti della strada che richiedono livelli di illuminazione diversi; pertanto, è necessario individuare queste parti, cosiddette **zone di studio**, omogenee nei requisiti illuminotecnici e, per ciascuna di esse, individuare i parametri di influenza significativi.

Per un dato impianto si possono individuare le seguenti **categorie illuminotecniche**:

- la categoria illuminotecnica di ingresso per l’analisi dei rischi. Questa categoria dipende esclusivamente dal tipo di strada presente nella zona di studio considerata;



- la categoria illuminotecnica di progetto, che dipende dall'applicazione dei parametri di influenza costanti nel lungo periodo e specifica i requisiti illuminotecnici da considerare nel progetto dell'impianto;
- le categorie illuminotecniche di esercizio che specificano sia le condizioni operative istantanee di funzionamento di un impianto sia le possibili condizioni operative previste dal progettista, in base alla variabilità nel tempo dei parametri di influenza.

Gli **impianti**, inoltre, possono essere classificati in funzione delle modalità di attivazione e/o determinazione della categoria illuminotecnica di esercizio come:

- impianto non regolato;
- impianto a regolazione predefinita;
- impianto adattivo;

inoltre, lo stesso, indipendentemente dai requisiti che deve soddisfare, può disporre delle seguenti **funzionalità**:

- ✓ funzionalità CLO (Constant Light Output) che rende costante il flusso luminoso emesso dalle sorgenti;
- ✓ funzionalità CP (Constant Performance) che rende costanti le prestazioni richieste dalla categoria illuminotecnica di esercizio.

Infine, salvo esigenze particolari e al fine di contenere i consumi energetici, deve essere evitato il **sovradimensionamento dell'impianto** verificando che i valori medi di illuminamento e/o luminanza ottenuti dai calcoli di progetto eseguiti secondo la norma UNI EN 13201-3 non siano maggiori di quelli previsti dalle categorie illuminotecniche di progetto o di esercizio:

- del 35% per le categorie illuminotecniche di tipo M;
- del 25% per le altre categorie illuminotecniche.

Le categorie illuminotecniche di un impianto si individuano mediante i seguenti passi:

- definizione della categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi;
- definizione della categoria illuminotecnica di progetto, valutando i parametri di influenza (analisi dei rischi) e considerando gli aspetti legati al contenimento dei consumi energetici e dell'inquinamento luminoso;

in alternativa tra di loro:

- ✓ definizione di una o più categorie illuminotecniche di esercizio specificando chiaramente le condizioni dei parametri di influenza;
- ✓ adozione di un sistema adattivo che realizzi anche la funzionalità CP.

## **2.2 Definizione della categoria illuminotecnica di riferimento**

La conoscenza accurata del territorio permette di effettuare, in maniera preventiva, la definizione della classificazione delle strade e la individuazione della categoria illuminotecnica di progetto, secondo le modalità di seguito descritte, espresse dalla normativa vigente.

L'indagine preliminare, solitamente condotta, prevede la suddivisione delle strade secondo la classificazione del Codice della Strada.

Il tipo della strada, secondo quanto previsto dalla normativa illuminotecnica, è determinato ai sensi del Decreto Legislativo N. 285 del 30 aprile 1992 "Nuovo Codice della Strada" e ss.mm.ii., (in particolare al D.Lgs. n° 360/93), e non risulta essere un compito affidato al progettista dell'impianto



di illuminazione. Si considerano le caratteristiche geometriche delle strade oggetto di intervento, confrontate con il precedente decreto e con analoghi casi presenti in città per le quali esiste una pianificazione del traffico.

#### Art. 2 - Decreto Legislativo 30 aprile 1992 n° 285 Definizione e classificazione delle strade

<b>A</b>	<b>Autostrade</b>	strada extraurbana o urbana a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia, eventuale banchina pavimentata a sinistra e corsia di emergenza o banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso e di accessi privati, dotata di recinzione e di sistemi di assistenza all'utente lungo l'intero tracciato, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore e contraddistinta da siti segnali di inizio e fine. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio ed aree di parcheggio, entrambe con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.
<b>B</b>	<b>Strade extraurbane principali</b>	strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia e banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso, con accessi alle proprietà laterali coordinati, contraddistinta dagli appositi segnali di inizio e fine, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore; per eventuali altre categorie di utenti devono essere previsti opportuni spazi. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio, che comprendano spazi per la sosta, con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.
<b>C</b>	<b>Strade extraurbane secondarie</b>	strada ad unica carreggiata con almeno una corsia per senso di marcia e banchine.
<b>D</b>	<b>Strade urbane di scorrimento</b>	strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico, ciascuna con almeno due corsie di marcia, ed una eventuale corsia riservata ai mezzi pubblici, banchina pavimentata a destra e marciapiedi, con le eventuali intersezioni a raso semaforizzate; per la sosta sono previste apposite aree o fasce laterali esterne alla carreggiata, entrambe con immissioni ed uscite concentrate.
<b>E</b>	<b>Strade urbane di quartiere</b>	strada ad unica carreggiata con almeno due corsie, banchine pavimentate e marciapiedi; per la sosta sono previste aree attrezzate con apposita corsia di manovra, esterna alla carreggiata.
<b>F</b>	<b>Strade locali</b>	strada urbana od extraurbana opportunamente sistemata ai fini di cui al comma 1 non facente parte degli altri tipi di strade.

Tabella 1 - Definizione e classificazione delle strade

La nuova normativa illuminotecnica UNI 11248:2016, invita il progettista degli impianti di illuminazione pubblica ad uno studio molto più accurato.

In questo modo viene richiesto un nuovo approccio alle problematiche da risolvere e si introduce una metodologia più accurata per la definizione delle categorie illuminotecniche da assegnare alle strade o agli spazi da illuminare, compresa la variazione nel tempo dei requisiti prestazionali dell'impianto.

È necessario pertanto definire più categorie illuminotecniche anche per la stessa strada, in considerazione del variare di alcuni parametri che dovranno essere esaminati dal progettista e per i quali si dovranno motivare le gerarchie.

È, quindi, compito preliminare del progettista:

- individuare i parametri di influenza significativi, i quali devono essere noti prima di iniziare il progetto;
- pervenire alla definizione delle categorie illuminotecniche attraverso una valutazione del rischio, che è parte integrante del progetto e dove devono essere esplicitati i criteri e le fonti delle informazioni che hanno portato alle scelte effettuate.

### 2.2.1 Definizione della categoria illuminotecnica d'ingresso

La definizione della categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi comprende le seguenti fasi:

- suddividere la strada in una o più zone di studio con condizioni omogenee dei parametri di influenza;
- per ogni zona di studio identificare il tipo di strada;
- noto il tipo di strada, individuare la categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi con l'ausilio del **prospetto 1** della norma UNI 11248:2016.

La norma UNI 13201-2:2016 definisce le categorie illuminotecniche, considerando le esigenze di visione degli utenti e gli aspetti ambientali previste per le seguenti tipologie di strade:

- le **categorie M** - Strade a traffico motorizzato con velocità di marcia medio/alte: fanno riferimento a strade a traffico motorizzato dove è applicabile il calcolo della luminanza. I valori delle luminanze e degli altri parametri illuminotecnici da soddisfare per le categorie M sono di seguito riportati:

Categoria	Luminanza del manto stradale della carreggiata				Abbagliamento debilitante	Illuminazione di contiguità
	Asciutto			Bagnato	Asciutto	Asciutto
	$\bar{L}$ [min. mantenuta] cd/m <sup>2</sup>	U <sub>o</sub> [minima]	U <sub>I</sub> [minima]	U <sub>DW</sub> [minima]	f $\eta$ [massima] %	R <sub>EI</sub> [minima]
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

Tabella 2 - Categorie illuminotecniche M

- le **categorie C** - Strade conflittuali con traffico misto: ad aree a traffico motorizzato in cui non è possibile ricorrere al calcolo della luminanza, come ad esempio zone di conflitto come strade in zone commerciali, incroci stradali di una certa complessità, rotonde, zone con presenza di coda, ecc. È anche applicabile ad alcune zone utilizzate dai pedoni e dai ciclisti, per esempio i sottopassaggi. Queste categorie definiscono gli illuminamenti orizzontali, di seguito riportati:

Categoria	Illuminamento orizzontale	
	$\bar{E}$ [minimo mantenuto] lx	U <sub>o</sub> [minimo]
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40

C5	7,50	0,40
----	------	------

Tabella 3 - Categorie illuminotecniche C basate sull'illuminamento del manto stradale

- le **categorie P** - Strade pedonali e ciclabili: definiscono gli illuminamenti orizzontali per marciapiedi, piste ciclabili, corsie di emergenza e altre zone della strada separate o lungo la carreggiata di una via di traffico, nonché a strade urbane, strade pedonali, parcheggi, cortili scolastici, ecc. I valori degli illuminamenti orizzontali sono di seguito riportati:

Categoria	Illuminamento orizzontale		Requisito aggiuntivo se è necessario il riconoscimento facciale	
	$\bar{E}$ [minimo mantenuto] lx	E min [mantenuto] lx	E v,min [mantenuto] lx	E sc,min [mantenuto] lx
P1	15,0	3,00	5,0	5,0
P2	10,0	2,00	3,0	2,0
P3	7,50	1,50	2,5	1,5
P4	5,00	1,00	1,5	1,0
P5	3,00	0,60	1,0	0,6
P6	2,00	0,40	0,6	0,2
P7	Prestazione non det.	Prestazione non det.		

Tabella 4 - Categorie illuminotecniche P

- le **categorie HS** - Strade pedonali e ciclabili: definiscono gli illuminamenti orizzontali per marciapiedi, piste ciclabili, corsie di emergenza e altre zone della strada separate o lungo la carreggiata di una via di traffico, nonché a strade urbane, strade pedonali, parcheggi, cortili scolastici, ecc. I valori degli illuminamenti emisferici sono di seguito riportati:

Categoria	Illuminamento emisferico	
	$\bar{E}$ HS [minimo mantenuto] lx	Uo [minimo]
HS1	5,00	0,15
HS2	2,50	0,15
HS3	1,00	0,15
HS4	Prestazione non determinata	Prestazione non determinata

Tabella 5 - Categorie illuminotecniche HS

- le **categorie SC** - Strade pedonali: sono da intendersi come categorie complementari per le aree pedonali ai fini del miglioramento del riconoscimento facciale e dell'aumento della sensazione della sicurezza. Queste categorie definiscono gli illuminamenti semicilindrici, i quali valori sono di seguito riportati:

Illuminamento semicilindrico	
Categoria	E sc,min [mantenuto] lx
SC1	10,0
SC2	7,50
SC3	5,00



SC4	3,00
SC5	2,00
SC6	1,50
SC7	1,00
SC8	0,75
SC9	0,50

Tabella 6 - Categorie illuminotecniche SC

- le **categorie EV** - Strade in presenza di superfici verticali: sono da intendersi come categorie complementari in situazioni è necessario vedere verticali, per esempio nelle zone di intersezione (caselli, aree di interscambio, attraversamenti pedonali, svincoli, ecc). Queste categorie definiscono gli illuminamenti verticali, i quali valori sono di seguito riportati:

Illuminamento del piano verticale	
Categoria	E sc,min [mantenuto] lx
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7,50
EV5	5,00
EV6	0,50

Tabella 7 - Categorie illuminotecniche EV

Ai vari tipi di strade, classificate secondo la legislazione vigente, sono associate una o più categorie illuminotecniche, illustrate nella seguente tabella:

Tipo di strada	Descrizione del tipo di strada	Limiti di velocità (km/h)	Categoria illuminotecnica di ingresso
A1	Autostrade extraurbane	130 - 150	M1
	Autostrade urbane	130	
A2	Strade di servizio alle autostrade extraurbane	70 - 90	M2
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	M2
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70 - 90	M3
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2)	70 - 90	M2
	Strade extraurbane secondarie	50	M3
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70 - 90	M2
D	Strade urbane di scorrimento	70	M2
		50	
E	Strade urbane di quartiere	50	M3
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2)	70 - 90	M2
	Strade locali extraurbane	50	M4
		30	C4/P2
	Strade locali urbane	50	M4
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	C3/P1
Strade locali urbane: altre situazioni	30	C4/P2	



	Strade locali urbane: aree pedonali, centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	C4/P2
	Strade locali interzonali	50	C4/P2
		30	
<b>Fbis</b>	Itinerari ciclo-pedonali	non dichiarato	P2
	Strade a destinazione particolare <sup>(1)</sup>	30	
<i>(1) Secondo il Decreto Ministeriale 5 novembre 2001 N°6729.</i>			

**Tabella 8 - Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi (Prospetto 1 della norma UNI 11248)**

### Art. 3.5 del D.M. 05/11/2001 N.6792 - Strade locali a destinazione particolare

“Si fa presente che nell’ambito delle strade del tipo locale debbono considerarsi anche strade a destinazione particolare, per le quali le caratteristiche compositive fornite dalla tabella 3.4.a e caratterizzate dal parametro “velocità di progetto” non sono applicabili. Si tratta, in ambito extraurbano, di strade agricole, forestali, consortili e simili, nelle quali le dimensioni della piattaforma vanno riferite in particolare all’ingombro dei veicoli di cui è previsto il transito; in queste il progettista dovrà prevedere opportuni accorgimenti, sia costruttivi che di segnaletica, per il contenimento delle velocità praticate. **In ambito urbano ricadono in queste considerazioni le strade residenziali, nelle quali prevale l’esigenza di adattare lo spazio stradale ai volumi costruiti ed alle necessità dei pedoni.**”

#### 2.2.2 Definizione della categoria illuminotecnica di progetto con l’analisi dei rischi

Nota la categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi, il passo successivo per l'individuazione delle categorie illuminotecniche è rappresentato dalla definizione della categoria di progetto, ottenuta a partire dalle modifiche da apportare alla categoria di ingresso sulla base di specifici **parametri di influenza** da considerare tramite un’analisi del rischio.

L’analisi dei rischi è parte obbligatoria del progetto illuminotecnico e consiste nella valutazione dei parametri d’influenza al fine d’individuare la categoria illuminotecnica che garantisce la massima efficacia del contributo degli impianti di illuminazione alla sicurezza degli utenti della strada in condizioni notturne, minimizzando al contempo i consumi energetici, i costi di installazione e di gestione e l’impatto ambientale e l’inquinamento luminoso.

L’analisi deve prevedere almeno le seguenti fasi:

- sopralluogo con l’obiettivo di valutare lo stato esistente e determinare una gerarchia tra i parametri di influenza rilevanti per le strade esaminate;
- individuazione dei parametri decisionali e delle procedure gestionali richieste da eventuali disposizioni legislative, dalla presente norma e da esigenze specifiche;
- studio preliminare del rischio, determinando gli eventi potenzialmente pericolosi, in base agli incidenti pregressi ed al rapporto tra incidenti diurni e notturni, e classificandoli in funzione della frequenza della gravità;
- creazione di una gerarchia di interventi per assicurare a lungo termine i livelli di sicurezza richiesti da disposizioni legislative e norme cogenti.

Il progettista deve basare l'analisi sulla conoscenza dei parametri di influenza **costanti nel lungo periodo** e, generalmente, i più significativi possono essere individuati tra quelli della tabella seguente:

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Complessità del campo visivo normale	1
Assenza o bassa densità di zone di conflitto	1
Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali	1
Segnaletica stradale attiva	1
Assenza di pericolo di aggressione	1

**Tabella 9 - Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica in relazione ai parametri di influenza costanti lungo periodo (Prospetto 2 della norma UNI 11248)**

La variazione della categoria illuminotecnica è di tipo sottrattivo, indicata come decremento da apportare al numero che appare nella sigla della categoria di ingresso per l'analisi dei rischi, ottenendo quindi categorie con requisiti prestazionali inferiori.

Il **decremento massimo** della categoria illuminotecnica di progetto, a partire dalla categoria illuminotecnica di ingresso, è pari a due categorie.

### 2.2.3 Definizione delle categorie illuminotecniche di esercizio

Accanto alla definizione della categoria illuminotecnica di progetto illustrata al paragrafo precedente, possono essere introdotte, se necessario, una o più categorie illuminotecniche di esercizio, ciascuna delle quali descrive la condizione di illuminazione prodotta da un dato impianto in uno specifico istante della sua vita o in una definita e prevista condizione operativa.

In questo caso, il progettista deve basare l'analisi sulla conoscenza dei parametri di influenza **variabili nel tempo** in modo periodico o casuale, generalmente, i più significativi possono essere individuati tra quelli della tabella seguente:

Parametro di influenza	Variazione massima della categoria illuminotecnica
Flusso di traffico <50% rispetto alla portata di servizio	1
Flusso di traffico <25% rispetto alla portata di servizio	2
Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali	1

**Tabella 10 - Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica in relazione ai parametri di influenza variabili nel tempo in modo periodico o casuale (Prospetto 3 della norma UNI 11248)**

L'esigenza di definire una o più categorie illuminotecniche di esercizio deriva dalla possibilità di riscontrare variazioni significative ai parametri di influenza suddetti.

Tali condizioni di traffico variabile sono risultate significative nella zona industriale. Per tale motivo si è concordato con l'Amministrazione la realizzazione di illuminazione adattiva in questa zona.

Il **decremento massimo** per la categoria illuminotecnica di esercizio, a partire dalla categoria illuminotecnica di progetto, è pari ad una categoria qualora la riduzione della categoria illuminotecnica di progetto sia pari a due categorie, altrimenti il decremento non è superiore a due categorie illuminotecniche.

#### 2.2.4 Ulteriori indicazioni sull'analisi dei rischi

Oltre che considerare i fattori d'influenza costanti nel lungo periodo e variabili nel tempo in modo periodico o casuale, rappresentati nei Prospetti 2 e 3 della Norma UNI 11248:2016, all'interno dell'analisi di rischio è buona norma:

- valutare anche le possibili variazioni nel tempo del parametro considerato, notando la lunga vita di un impianto, se paragonata all'evoluzione delle condizioni del traffico e allo sviluppo della rete stradale;
- accordarsi con il committente sul peso dei singoli parametri;
- limitare l'influenza di ogni parametro alla variazione massima di una categoria illuminotecnica, salvo per flussi di traffico inferiori al 25% rispetto alla portata di servizio, indicato nella Tabella 2;
- limitare le scelte tra le categorie illuminotecniche definite nella norma UNI EN 13201-2 evitando la creazione di nuove categorie, per esempio introducendo livelli non previsti di luminanza o valori di uniformità ad eccezione dei casi previsti per i sistemi di illuminazione adattivi.

In alcuni casi, il progettista deve suggerire l'adozione di **provvedimenti integrativi** dell'illuminazione, di cui la tabella seguente elenca alcuni esempi.

Condizione	Rimedio
Prevalenza di precipitazioni meteoriche	ridurre l'altezza e l'interdistanza tra gli apparecchi di illuminazione e l'inclinazione massima delle emissioni luminose rispetto alla verticale in modo da evitare il rischio di riflessioni verso l'occhio del conducente degli autoveicoli
Riconoscimento dei passanti	verificare che l'illuminamento verticale all'altezza del viso sia sufficiente
Luminosità ambientale elevata (ambiente urbano)	adottare segnaletica stradale attiva e/o a riflessione catadiottrica di classe adeguata per mantenere la condizione di cospicuità
Elevata probabilità di mancanza di alimentazione	
Elevati tassi di malfunzionamento	
Curve pericolose in strade con elevata velocità degli autoveicoli	
Presenza di rallentatori di velocità	
Intersezioni, svincoli, rotatorie (in particolare se con traffico intenso e/o di elevata velocità)	
Attraversamenti pedonali in zone con flusso di traffico e/o velocità elevate	illuminare gli attraversamenti pedonali con un impianto separato e segnalarli adeguatamente
Programma di manutenzione inadeguato	ridurre il fattore di manutenzione inserito nel calcolo illuminotecnico

Tabella 11 - Esempi di provvedimenti integrativi all'impianto di illuminazione (Prospetto 5 della norma UNI 11248)

Per gli impianti adattivi denominati **Full Adaptive Installation - FAI** alle riduzioni precedenti si aggiunge un'ulteriore riduzione di una categoria illuminotecnica per flussi di traffico minori del 12,5% del flusso orario di traffico di progetto.

Infine, nella norma UNI 11248 al paragrafo 8.3 è specificato che con apparecchi che emettono luce con indice generale di resa dei colori  $\geq 60$  e rapporto S/P  $\geq 1,10$ , previa verifica, nell'analisi dei rischi delle condizioni di visione, il progettista può considerare, in ragione di questo parametro di influenza generalmente costante nel lungo periodo, al massimo la variazione di una categoria illuminotecnica.

#### 2.2.5 Comparazione delle categorie illuminotecniche

Quando zone adiacenti e/o contigue prevedono categorie illuminotecniche diverse che a loro volta impongono requisiti prestazionali basati sulla luminanza o sull'illuminamento è necessario

individuare le categorie illuminotecniche che presentano un livello luminoso comparabile come specificato nella tabella seguente.

Categoria illuminotecnica comparabile						
Condizione	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Se $Q_0 \leq 0,05 \text{ sr}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Se $0,05 \text{ sr}^{-1} < Q_0 \leq 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Se $Q_0 > 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C2	C3	C4	C5	C5	C5
			P1	P2	P3	P4

Tabella 12 - Comparazione delle categorie illuminotecniche (Prospetto 6 della norma UNI 11248)

Si evidenzia che deve essere evitata una differenza maggiore di due categorie illuminotecniche adiacenti e/o contigue; inoltre, costituisce la zona di riferimento quella in cui il livello luminoso raccomandato è il più elevato.

### 2.3 Inquinamento luminoso

In fase di progettazione degli impianti di illuminazione pubblica è necessario analizzare le problematiche inerenti all'inquinamento luminoso, fenomeno che avviene quando la luce emessa dai corpi illuminanti per esterni è rivolta verso l'alto e di conseguenza dispersa. Questo fenomeno provoca danni di vario tipo:

- ambientali (perdita di orientamento per gli animali, alterazione dei ritmi circadiani nell'uomo);
- culturali (sparizione del cielo stellato a causa della troppa luce rivolta verso il cielo);
- economici (spreco di energia elettrica per zone che non necessitano di illuminazione).

#### 2.3.1 Breve cenno sull'inquinamento luminoso

In una notte serena e senza luna, il cielo ha una luminosità determinata da molteplici sorgenti di luce naturale tra cui la luce delle stelle, la luce del sole riflessa dalle polveri interplanetarie, la ricombinazione atomica nella ionosfera, ecc.

Dal secolo scorso alla luminosità naturale si è aggiunta la componente luminosa prodotta dall'illuminazione artificiale:

- questa componente è l'inquinamento luminoso, che gli astronomi definiscono "l'alterazione della quantità naturale di luce, presente nell'ambiente notturno, provocata dall'immissione di luce artificiale".

L'inquinamento luminoso produce due tipi d'impatto ambientale:

- generalizzato, dovuto all'immissione in atmosfera di luce artificiale;
- prossimale, dovuto all'inquinamento ottico prodotto da quella luce, dispersa da una sorgente ottica artificiale, che illumina direttamente un'area o un soggetto che non è richiesto illuminare.

Nel **primo caso** l'impatto ambientale di un singolo punto luce è minimo mentre non lo è quello di tutti i punti luce di una strada o di un paese.

La valutazione di questo impatto richiede perciò di determinare quale dovrebbe essere l'emissione massima affinché la sommatoria degli effetti di tutti gli impianti attivi, produca un'alterazione trascurabile della quantità di luce naturale presente nell'ambiente.



Nel **secondo caso** l'effetto è dato dal flusso luminoso che irradia una superficie o una persona: dato che l'illuminamento è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla sorgente ottica, il raggio d'azione di questi effetti è limitato al circondario degli impianti di illuminazione.

Quando la luce dispersa da una sorgente ottica artificiale colpisce direttamente una persona che è utente dell'impianto di cui fa parte la sorgente, il disturbo prodotto è l'abbagliamento, in questo caso il disturbo è legato al rapporto tra l'intensità della luce, che arriva direttamente al soggetto dalla sorgente, e quella che gli arriva dalla superficie illuminata dall'impianto.

Una sorgente ottica non schermata propaga in tutte le direzioni le radiazioni ottiche che emette, producendo l'inquinamento luminoso.

Infatti, la luce per illuminare deve seguire un percorso che, dalla sorgente, il raggio d'onda ottica raggiunge un'area (es. una pavimentazione stradale) per venirci in parte riflesso verso l'occhio dell'osservatore dove avverrà il processo della visione.

La radiazione ottica che si propaga in altre direzioni rimane inutilizzata; anzi, il raggio d'onda ottica è addirittura controproducente poiché, arrivando direttamente all'occhio dell'osservatore, ne causa l'abbagliamento.

In linea con quanto disposto dal legislatore **si può enunciare una definizione più tecnica di inquinamento luminoso: ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolare, oltre il piano dell'orizzonte.**

L'esempio paradigmatico di corpo illuminante ad elevato inquinamento luminoso è rappresentato dal lampione a sfera. Le tre tipiche emissioni luminose generate da un lampione a sfera sono:

- **diretta verso il piano dell'orizzonte:** questo tipo di emissione arriva a propagarsi fino a 200-300 km di distanza dalla sorgente ottica, oltre la quale interviene la naturale curvatura terrestre a disperdere nello spazio i raggi d'onda ottica. In questo "tragitto" la luce emessa attraversa un considerevole spessore atmosferico, per cui il meccanismo della diffusione agisce molto più efficacemente e di conseguenza è più rilevante l'aumento di luminosità artificiale di fondo del cielo;
- **diretta verso lo zenit:** dopo aver attraversato l'atmosfera si disperde nello spazio. Contribuisce ad aumentare l'inquinamento luminoso a livello locale;
- **dovuta ai raggi d'onda ottica riflessi dalle superfici illuminate** (strade, piazze, marciapiedi, edifici, ecc.), quindi questo inquinamento da luce indiretta è prodotto dalla radiazione ottica effettivamente utilizzata per illuminare. Il flusso luminoso riflesso ammonta a circa il 10% del flusso incidente e, sommandosi all'emissione, contribuisce ad aumentare l'inquinamento luminoso a livello locale.

Il concetto fondamentale è che il contributo più rilevante all'inquinamento luminoso non è dato dalle emissioni dirette verso la verticale, che inquinano a livello locale, ma da quelle dirette verso il piano dell'orizzonte o a piccoli angoli sopra di esso, che inquinano a molta distanza dalla sorgente ottica: in questo tipo di emissione inquinante nell'ambiente, l'effetto è determinato non solo dalla quantità ma anche dalla direzione dell'emissione.

Pertanto, utilizzare dei parametri di valutazione basati solo sulla quantità di flusso luminoso immesso nell'ambiente non è sufficiente ed è necessario utilizzarne altri che tengano conto anche della direzione di tale immissione.

Occorre, quindi, intervenire sulla limitazione delle emissioni luminose in tutte le direzioni di propagazione:

- per quelle dirette verso il piano dell'orizzonte o sopra di esso, per mezzo di armature schermate;
- per l'inquinamento da luce indiretta, per mezzo della progettazione di impianti di illuminazione che tengano conto, in modo corretto, del tipo di superficie da illuminare e del suo effettivo coefficiente di riflessione, per non erogare un flusso luminoso eccessivo, ma adatto a garantire un adeguato comfort visivo e la sicurezza della circolazione stradale.

Agli effetti diretti che l'inquinamento luminoso ha sull'ambiente, si aggiungono quelli indiretti causati dallo spreco di energia elettrica per produrre radiazione ottica in eccesso od inutilizzata.

### 2.3.2 Impatto ambientale dell'inquinamento luminoso

Tutte le forme di vita nella loro evoluzione non hanno potuto prescindere dall'esistenza della radiazione ottica, la cui principale sorgente per il nostro pianeta è il sole:

- per la maggior parte dei sistemi biologici l'alternarsi tra giorno e notte, tra luce e buio, è un fattore fondamentale della loro vita.

Quando nel 1880 T. Edison costruì la prima lampada a incandescenza, iniziò l'era dell'illuminazione pubblica elettrica: solo alla fine del secolo scorso si capì che, negli ecosistemi inquinati dalla luce artificiale che si disperde al di fuori delle aree a cui essa è dedicata costituisce fonte di stress per gli esseri viventi, siano essi piante o animali. Infatti, a titolo esemplificativo, i valori esposti nella tabella che segue mostrano che una strada poco illuminata supera ampiamente la luminosità dei corpi celesti in una notte sgombra di nuvole.

La tabella seguente riporta i valori d'illuminazione, espressi in lux, in alcune situazioni:

Situazione	Illuminazione minima (lux)	Illuminazione massima (lux)
Stelle	-	0,001
Luna	-	0,2
Strada illuminata	5	60
Abitazione	-	300
Ufficio luminoso	400	600
Giornata nuvolosa	1.000	10.000
Giornata soleggiata	50.000	100.000

Gli effetti di disturbo della luce artificiale si possono classificare in due categorie:

- effetti delle immissioni luminose dirette verso l'alto;
- effetti delle immissioni luminose dirette verso il basso.

Nel **primo caso** si tratta di effetti della luce artificiale su soggetti in quota (es. disturbo alle migrazioni) e di effetti dell'illuminamento secondario al suolo prodotto dalla luce artificiale diffusa dall'atmosfera.

Per i soggetti in quota, un possibile parametro per quantificare l'impatto nel territorio è la "distanza d'impatto", cioè la distanza in funzione dell'altitudine oltre la quale il soggetto non viene disturbato dall'impianto: è stato calcolato che, in una notte di luna nuova, per gli insetti questa distanza è di circa 400 - 700 metri.

Gli effetti delle immissioni luminose **verso il basso**, invece, sono dovuti all'illuminamento diretto da parte degli apparecchi dell'impianto sulla superficie o sul soggetto coinvolto.



I livelli, di solito, sono notevoli e di elevato impatto vicino agli impianti e la loro valutazione va fatta in base alla mappatura dell'inquinamento riscontrato punto per punto in un'ampia area attorno all'impianto (curve isolux).

Tutto ciò comporta una serie di effetti negativi sulla flora e sulla fauna e sull'uomo, come alterazione della crescita degli organismi vegetali, nonché effetti negativi sulla vita degli insetti e della migrazione degli uccelli.

In conclusione, la luce artificiale disturba la fisiologia alterando il metabolismo, esponendo l'uomo a patologie i cui costi sociali e sanitari cominciano solo ora a essere considerati.

Per cui, l'impiego all'esterno di lampade ai vapori di sodio al posto di quelle ai vapori di mercurio odi alogenuri metallici, diminuisce il fattore di rischio per l'Uomo e per tutti gli altri esseri viventi.

#### **2.4 Illuminazione adattiva e telecontrollo**

L'adozione di impianti con caratteristiche variabili (variazione del flusso luminoso emesso), purché nel rispetto della categoria illuminotecnica di esercizio corrispondente, può rappresentare una soluzione per assicurare condizioni di risparmio energetico nell'esercizio.

Il valore dei singoli parametri di influenza, ottenuto attraverso metodi statistici permette di definire una variabilità significativa dei parametri e delle categorie di esercizio. Nello specifico, per le strade individuate per il livello massimo di servizio, ma le cui condizioni di traffico reali e rispettive sono minori, si può adottare la riduzione ai requisiti della categoria illuminotecnica più appropriata.

La tipologia di impianto in esame è del tipo adattivo, nel quale le condizioni di illuminazione sono scelte al termine di un processo decisionale basato sul **campionamento continuo** delle condizioni **dei parametri di influenza variabili nel tempo** in modo periodico o casuale come il flusso e la tipologia di traffico e le condizioni atmosferiche.

In accordo con le richieste dell'Amministrazione, il sistema di illuminazione adattiva è stato progettato nei percorsi viari della zona industriale del comune di Molfetta, dove si registra un decremento del flusso di traffico rispetto alle condizioni previste dalla pura classificazione stradale. Tramite l'installazione di tre sensori LTM per l'illuminazione adattiva del tipo **FAI** (Full Adaption Installation) nei principali punti di accesso alla zona industriale è consentita la misurazione di **luminanza, traffico e condizioni meteo** e la conseguente regolazione della dimmerazione degli apparecchi di illuminazione gestiti con telecontrollo punto-punto.

La procedura di campionamento dei flussi di traffico si articola come di seguito descritto:

- Conteggio per un 1 minuto dei veicoli;
- Calcolo del campione ottenuto moltiplicando il conteggio per 60 al fine di ottenere il flusso orario del traffico;
- Calcolo della media aritmetica per i primi dieci campioni;
- Ripetere per ogni minuto la misura del conteggio, calcolare il campione, scartare il primo campione per determinare sempre su dieci campioni il valore medio del flusso orario del traffico.

Il valore della media mobile del flusso orario del traffico determina continuamente la regolazione del valore del flusso luminoso degli apparecchi mediante interpolazione lineare della luminanza media definita tra la categoria illuminotecnica di progetto e di esercizio, garantendo la luminanza campionata entro i valori limite previsti dal progetto.





Il rilievo dei dati avviene sino a tre corsie per carreggiata e il flusso orario di traffico da considerare ai fini della regolazione è il valore massimo tra quelli campionati in ognuna delle corsie servite dal singolo impianto.

La luminanza del manto stradale (tra 0 e 5 cd/m<sup>2</sup>) è rilevata con una precisione del 5% così come regolamentato dalla norma UNI EN 13201-4:2016.

Le misurazioni meteorologiche (pioggia/neve/nebbia/assenza di perturbazioni), invece, sono realizzate mediante algoritmo di visione artificiale.

L'illuminazione adattiva rientra nel più grande progetto che prevede il coinvolgimento di nr.904 organi illuminanti nel sistema di **telecontrollo punto-punto**.

Gli apparecchi di illuminazione del caso risultano dotati di moduli per la regolazione e il monitoraggio **in radiofrequenza** singolare. Trattasi di due tipologie di nodi a seconda del tipo di installazione, rispettivamente nodo provvisto di connettore Zaha ad installarsi integrato nell'apparecchio e di antenne con grado di protezione IP66 da posizionarsi all'esterno del corpo illuminante affinché avvenga la comunicazione in RF.

Tali moduli garantiscono telemisura, telediagnosi e telecontrollo dell'apparecchio di illuminazione da remoto con protocollo di comunicazione DALI 2.0.

Il gateway installato all'interno dei quadri telegestiti, invece, consente la comunicazione con i moduli installati presso i singoli punti luce e permette la conoscenza in tempo reale dello stato di funzionamento di tutte le lampade interessate e la registrazione dei dati.

In merito alla rappresentazione grafica del sistema di telecontrollo punto-punto e illuminazione adattiva si rimanda agli elaborati SDP\_64\_01 e SDP\_65\_01.

## **2.5 Classificazione illuminotecnica di progetto**

Le aree oggetto dei lavori di riqualificazione e ampliamento dell'impianto di pubblica illuminazione sono identificate nell'intero territorio comunale di Molfetta.

Pertanto, alla luce di quanto riportato nella tabella 8 "Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi" (Prospetto 1 della Norma UNI 11248:2016), sono state classificate tutte le **strade contraddistinte dalla tipologia funzionale** secondo la normativa vigente, così come meglio specificato nell'art.3.5 del D.M. n°6792 del 05/11/2001, con una corrispettiva **categoria illuminotecnica di ingresso**.

Successivamente è stata svolta un'analisi dei rischi tenendo conto dei seguenti parametri di influenza costanti nel lungo periodo riportati nella Tabella 9 (Prospetto 2 della Norma UNI 11248:2016):

- complessità del campo visivo: è stato attribuito il **valore 0**, a seguito di un confronto con la Stazione Appaltante;
- assenza o bassa densità di zone di conflitto: non applicabile sia da rilievo dello stato dei luoghi che da previsioni di piano del PUMS;
- segnaletica cospicua nelle zone conflittuali: non applicabile;
- segnaletica stradale attiva: non applicabile;
- assenza di pericolo di aggressione: è stato attribuito il **valore 0**, evidenziando la volontà della Pubblica Amministrazione di rendere il Comune di Molfetta ancora più sicuro e tranquillo anche di sera, ed evitare l'accadimento di incidenti o atti criminali in zone di pertinenza comunale.



Pertanto tale scelta risulta essere conservativa non applicando alcuna riduzione alla categoria illuminotecnica di ingresso, derivante dall'analisi dei rischi, tenendo conto dei parametri di influenza costanti nel lungo periodo.

Si rimanda all'elaborato "R11\_01 - Tabella con analisi dei rischi" per la definizione della categoria illuminotecnica di progetto dell'impianto di pubblica illuminazione del Comune di Molfetta, eseguita a partire dalla categoria illuminotecnica di ingresso ed a seguito dell'analisi dei rischi.

### **3 RISULTATI ILLUMINOTECNICI**

I calcoli illuminotecnici sono stati eseguiti mediante il programma software DIALux evo 9.2. Le curve fotometriche degli apparecchi illuminanti sono state fornite dal Costruttore degli stessi, in formato Eulumdat.

Alla presente relazione tecnica sono allegati i calcoli illuminotecnici di diverse strade tipo dell'impianto di pubblica illuminazione del Comune di Molfetta. Tali calcoli sono stati elaborati secondo alcuni parametri comuni, quali:

- Classificazione illuminotecnica di progetto e potenza della lampada;
- Geometrie stradali;
- Caratteristiche dell'impianto (interdistanza tra pali, altezza fuoco, tipologia, etc.);
- Strade analizzate.