



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Assessorato dell'Industria

INTERVENTI PER IL COMPLETAMENTO, LA MANUTENZIONE STRAORDINARIA
E LA MESSA IN SICUREZZA DELLE INFRASTRUTTURE PRIMARIE
AL SERVIZIO DELL'AGGLOMERATO INDUSTRIALE DI ORISTANO

SECONDO STRALCIO FUNZIONALE

**COMPLETAMENTO DELL'IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE
PUBBLICA NEL CORPO CENTRALE DELL'AGGLOMERATO**

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO



ELABORATO:

**RELAZIONE
ILLUMINOTECNICA**

ALLEGATO:

A1

Data: Luglio 2022

CIG: 944928115D

CUP: E14B20000330002

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
(Ing. Salvatore Daga)

IL PROGETTISTA
(Ing. Agostino Pruneddu)

IL DIRETTORE
(Dott. Marcello Siddu)

rev.	descrizione	redato	verificato	approvato
0				
1				

Codice Elaborato

P C C N 0 3
P D/E
0 1
A
0 0 2
R 0 0

Lavoro

Fase

Sub Fase

Tipo

Elaborato

Revisione

CONSORZIO INDUSTRIALE PROVINCIALE ORISTANESE

INTERVENTI PER IL COMPLETAMENTO, LA MANUTENZIONE STRAORDINARIA E LA MESSA IN SICUREZZA DELLE INFRASTRUTTURE PRIMARIE AL SERVIZIO DELL'AGGLOMERATO INDUSTRIALE DI ORISTANO *SECONDO STRALCIO FUNZIONALE*

COMPLETAMENTO DELL'IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA NEL CORPO CENTRALE DELL'AGGLOMERATO

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI CALCOLO ILLUMINOTECNICO

1. DEFINIZIONI

In Italia vi è una unica Norma Tecnica in materia di pubblica illuminazione stradale, cioè la UNI 11248 / 2016 - "*illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche*".

La norma individua le prestazioni illuminotecniche degli impianti di illuminazione atte a contribuire, per quanto di pertinenza, alla sicurezza degli utenti della strada ed in particolare:

1. indica come classificare una zona esterna destinata al traffico, ai fini della determinazione della **categoria illuminotecnica** che le compete;
2. fornisce la procedura per la selezione delle categorie illuminotecniche che competono alla zona classificata;
3. 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;
4. fornisce prescrizioni sulle griglie di calcolo per gli algoritmi della Norma Europea UNI EN 13201-3:2004 - "*illuminazione stradale - Calcolo delle prestazioni*" e per le misurazioni in loco trattate dalla UNI.

La Norma **UNI 11248** indica per ogni tipo di strada e di traffico la categoria illuminotecnica di riferimento, la quale da indicazioni in merito alle condizioni che debbono essere realizzate affinché il processo della percezione visiva si svolga in maniera completa, senza disturbi o eccessivo affaticamento degli organi e delle facoltà che intervengono nel processo stesso e che permette di determinare, sulla base della Norma UNI EN 13201, i valori da assumere.

Si noti che la categoria illuminotecnica di progetto della UNI 11248 può essere anche diversa da quella di riferimento, in quanto il progettista può effettuare un'analisi dei rischi, dalla cui sintesi conclusiva individua la categoria illuminotecnica (di progetto) e presenta le misure da porre in opera (impianti, attrezzature, procedure) per assicurare al livello desiderato la sicurezza degli utenti della strada, ottimizzando i costi di installazione e di gestione energetica dell'impianto conformemente ai requisiti evidenziati nella fase di analisi.

1.1 PRINCIPALI PARAMETRI DI QUALITÀ DELL'ILLUMINAZIONE STRADALE

I più importanti parametri di qualità dell'illuminazione stradale secondo le attuali normative nazionali e internazionali, sono:

- **livello di luminanza;**
- **uniformità di distribuzione delle luminanze;**
- **rapporto tra gli illuminamenti medi sul bordo della strada;**
- **grado di limitazione dell'abbagliamento debilitante;**
- **spettro di emissione delle lampade;**

- guida ottica.

È importante in primo luogo osservare che la visione di un oggetto illuminato non è dovuta all'illuminamento di questo oggetto, cioè alla quantità di luce che esso riceve, ma alla sua luminanza, cioè alla quantità di luce che esso rimanda all'occhio, e al suo colore, cioè alla composizione spettrale di questa luce. Ai bassi livelli di illuminamento, quali in pratica è possibile realizzare con un impianto di illuminazione artificiale, l'occhio è poco sensibile al colore degli oggetti, per cui la visione ha luogo prevalentemente in base alla quantità della luce che gli oggetti rinviavano verso l'osservatore, piuttosto che alla sua qualità.

L'oggetto si distingue dal suo sfondo e viene percepito dall'occhio quando la sua luminanza è maggiore o minore di quella dello sfondo, la visione avviene quindi per *contrasto di luminanza* fra oggetto e sfondo. Nell'illuminazione stradale deve essere realizzata una luminanza della pavimentazione stradale sufficientemente elevata in modo che gli eventuali ostacoli risaltino come sagome scure su fondo chiaro. La luminanza di un corpo dipende dalla quantità di luce che esso riceve e dalle sue caratteristiche di riflessione.

I requisiti tecnici cui un impianto di illuminazione stradale deve rispondere per assicurare soddisfacenti condizioni di visibilità e per costituire una vera e propria guida ottica (ossia per permettere al guidatore di riconoscere durante la notte il tracciato che deve seguire e/o di comprendere le modalità di funzionamento di un incrocio), sono:

Un'adeguata luminanza della strada. Dal livello di luminanza dipende il potere di rivelazione, inteso come percentuale di un insieme definito di oggetti percepibile dal conducente in ogni punto della strada. Il potere di rivelazione aumenta all'aumentare della luminanza media del manto stradale, con andamento dipendente dall'uniformità e dal grado di abbagliamento debilitante prodotto dall'impianto.

Uniformità di luminanza. Generalmente, il parametro utilizzato per descrivere la distribuzione delle luminanze sulla superficie stradale il rapporto $U_m = L_{min}/L_m$, dove L_{min} è la luminanza puntuale minima e L_m è quella media sull'intera superficie stradale. Il potere di rivelazione cresce con U , con andamento dipendente anche dal grado di abbagliamento debilitante.

Si distinguono in generale l'"**uniformità di luminanza trasversale**", cioè lungo una retta trasversale alla strada, e l'"**uniformità longitudinale**", lungo una retta parallela all'asse stradale. I valori minimi ammessi si intendono i valori riscontrati lungo la retta, trasversale o longitudinale. Dal punto di vista esclusivamente della visibilità, cioè del potere di percepire un sufficiente contrasto fra oggetto e sfondo, l'esperienza suggerisce la necessità di una **elevata uniformità trasversale**, più ancora di quella in senso longitudinale. Infatti, data la forte riduzione delle dimensioni longitudinali della strada nella visione prospettica, le strisce scure che si alterano lungo lo sviluppo della strada e che determinano la disuniformità longitudinale sono viste sotto un angolo assai piccolo, per cui l'effetto della disuniformità di luminanza sulla visibilità degli oggetti risulta in genere trascurabile.

Un oggetto di medie dimensioni può essere percepito dall'osservatore attraverso il contrasto fra la sua luminanza e quella di una delle strisce chiare che si succedono a distanze ravvicinate. Anzi, è noto che, dal punto di vista della percezione della strada, una relativa disuniformità longitudinale può essere utile per ottenere una certa profondità nel campo visivo e consentire una migliore valutazione delle distanze dei vari oggetti, sempre che la dimensione apparente delle strisce più scure siano sufficientemente ridotte. Diversamente, una disuniformità trasversale può rendere invisibili anche ostacoli di rilevanti dimensioni, quali pedoni e ciclisti. Da un punto di vista del comfort visivo, tuttavia, la disuniformità longitudinale va limitata, per evitare che il continuo alternarsi di strisce chiare e scure lungo la marcia dell'autoveicolo provochi fastidio e stanchezza visiva al guidatore.

Per un soddisfacente risultato complessivo, La Norma Tecnica UNI 11248 prevede i seguenti valori limite per le due dette grandezze:

$U_0 = L_{min}/L_{med}$. Definisce l'uniformità generale di luminanza, espressa come rapporto fra la luminanza minima di tutta la carreggiata e la luminanza media. Per questa grandezza la Normativa raccomanda valore compresi tra 0,40 e 0,35 (a seconda della categoria illuminotecnica della strada), al di sotto del quale la visibilità nella parte più scura sarebbe compromessa.

$U_l = L_{min}/L_{max}$. Definisce l'uniformità longitudinale di luminanza, espressa come rapporto fra la luminanza minima e la luminanza massima lungo la mezzzeria di una stessa corsia di marcia. Per questa grandezza il valore limite raccomandato varia fra 0,70 e 0,40 a seconda della categoria illuminotecnica di riferimento.

I sopraindicati rapporti sono da considerarsi per una carreggiata asciutta e lungo la "campata" limitata da due centri luminosi successivi che inizia a 60 m dall'osservatore e fra zone della carreggiata aventi dimensioni di una certa entità (generalmente tale entità viene considerata tale da sottendere un arco, rispetto al punto di osservazione, di 2' verticalmente e 20' orizzontalmente).

Limitazione dell'abbagliamento. Un criterio di qualità di un impianto è costituito da una soddisfacente limitazione dell'abbagliamento provocato dai Corpi Illuminanti: i centri devono essere opportunamente schermati, in modo che le intensità luminose emesse in direzione dell'osservatore siano limitate.

Questa limitazione deve essere tanto più accentuata quanto più le intensità sono ravvicinate alla direzione normale d'osservazione del guidatore. Le intensità più ravvicinate alla direzione normale d'osservazione sono quelle prodotte dai centri più lontani dall'osservatore. Le intensità più pericolose nei riguardi dell'abbagliamento sono quelle inclinate rispetto l'orizzontale da 0° a circa 10°. Le Norme in tema di illuminazione stradale limitano la zona d'emissione degli apparecchi, da impiegarsi nelle strade di maggior traffico, nell'intervallo da 90°, rispetto alla verticale, a 80° (ammettendo un'intensità massima di 10 cd ogni 1000 lm d'emissione della sorgente luminosa a 90°, e di 30 cd ogni 1000 lm a 80°), e consigliano che l'intensità massima non sia diretta oltre i 65° rispetto alla verticale.

La presenza di Corpi Illuminanti poco schermati nel campo visivo del guidatore ne innalza la luminanza media, e corrispondentemente provoca l'incremento la luminanza di adattamento dell'occhio deviandola da quella della carreggiata. In queste condizioni i contrasti fra ostacolo e sfondo sono più difficilmente percepibili. La limitazione dell'abbagliamento si ottiene limitando le intensità «radenti» emesse dai centri luminosi, e questo, però, contrasta con l'esigenza del massimo sfruttamento delle intensità ai fini della luminanza della carreggiata in conseguenza delle proprietà riflettenti delle pavimentazioni.

Fra le due contrastanti esigenze cioè sfruttamento delle intensità per l'ottenimento di una elevata luminanza della carreggiata e limitazione dell'abbagliamento, sarà necessario trovare un compromesso.

Nel caso dei fenomeni di abbagliamento associati all'illuminazione artificiale prodotta dalle armature stradali, ha senso riferirsi all'**abbagliamento debilitante o fisiologico** ("disability glare" o "veiling glare"). Tale forma di abbagliamento produce una riduzione della capacità visiva, in particolare della percezione dei contrasti, a causa di una sorta di velo luminoso con effetto offuscante che invade il campo visivo.

L'abbagliamento debilitante si valuta generalmente mediante la *luminanza equivalente di velo* (L_v), che esprime propriamente la misura in cui gli apparecchi illuminanti, presenti nel campo visivo dell'osservatore, provocano la formazione di un velo di luminanza parassita, che annebbia i contorni e riduce i contrasti di luminanza fra oggetti e sfondo. La luminanza equivalente di velo, per ciascuno degli n centri nel campo visivo, si valuta con la formula:

$$L_v = 10 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{\theta_i^2}$$

Dove:

L_v = luminanza di velo equivalente (cd/m^2);

E_i = illuminamento prodotto dall' i -esima sorgente luminosa sull'occhio dell'osservatore in un piano perpendicolare alla direzione di osservazione, che si assume inclinata di 1° rispetto all'orizzontale (lx);

θ_i = angolo formato fra la direzione di osservazione, assunta come giacente su un piano parallelo all'asse stradale ed inclinata di 1° verso il basso rispetto all'orizzontale, e la congiungente l'occhio dell'osservatore ed il centro fotometrico dell' i -esimo apparecchio di illuminazione rientrante all'interno del campo visivo (gradi sessagesimali).

Si escludono dal calcolo i centri che non rientrano nel campo visivo definito dal piano inclinato di 20° rispetto all'asse orizzontale.

L'indicatore direttamente connesso alla luminanza equivalente di velo è l'*incremento del contrasto rispetto allo sfondo*, definito dalla sigla TI (Threshold Increment) e fornito in percentuale. Esso si determina con la relazione seguente:

$$TI = 65 \cdot \frac{L_v}{L_m^{0,8}}$$

Dove:

TI = parametro di incremento di soglia (%);

L_v = luminanza di velo equivalente (cd/m^2);

L_m = luminanza media della carreggiata (cd/m^2);

la luminanza media (L_m) è poi deducibile, in funzione dell'illuminamento, dalla seguente espressione:

$$L_m = \rho \cdot \frac{E_{hs}}{\pi}$$

Dove:

ρ = fattore di riflessione medio della pavimentazione stradale;

E_{hs} = illuminamento medio orizzontale della pavimentazione della carreggiata (lx);

Le Norme di riferimento, in funzione della categoria illuminotecnica di appartenenza, raccomandano valori limite massimi di TI compresi tra il 10% ed il 15%.

Per quanto concerne la limitazione dell'abbagliamento, gli apparecchi si classificano generalmente nelle tre seguenti categorie: cut-off, semi cut-off, non cut-off:

a) Apparecchi cut-off

Perché un apparecchio possa essere classificato **cut-off** secondo la definizione fissata dalla Commission Internationale de l'Eclairage occorre che il valore massimo dell'intensità a 90° rispetto alla verticale sia inferiore o uguale a 10 cd ogni 1000 lumen e comunque non superiore a 1000 cd, e sia inferiore o uguale a 30 cd ogni 1000 lumen emessi a 80° . La intensità massima della luce emessa dalle armature cut-off nel piano parallelo all'asse stradale sta tra zero e 65° . Oltre l'angolo limite di 75° esse tagliano bruscamente l'emissione luminosa.

b) Apparecchi semi-cut-off

Esiste una classe di apparecchi di illuminazione stradali definiti dalla Commission Internationale de l'Eclairage **semi-cut-off** che sono più abbaglianti degli apparecchi cut-off. Il massimo dell'intensità emessa può cadere tra zero e 75° . Il valore massimo dell'intensità a 90° rispetto alla verticale deve essere inferiore o uguale a 50 cd ogni 1000 lumen e comunque non superiore a 1000 cd, e inferiore o uguale a 100 cd ogni 1000 lumen a 80° .

c) Apparecchi non schermati (non cut-off)

Per gli apparecchi non schermati (es. con rifrattore prismatico o con diffusore) la "Commission Internationale de l'Eclairage" un limite massimo di 1000 cd all'emissione a 90° dalla verticale. Le raccomandazioni della "Commission Internationale de l'Eclairage" non utilizzarli sulle strade extraurbane e sulle autostrade. Non sono tuttavia consigliabili in alcun tipo di impianto. Sono in genere estremamente dispersivi e inquinanti. I coefficienti di utilizzazione degli impianti che li adottano sono molto bassi, il che è indice di spreco energetico. Il coefficiente di utilizzazione esprime infatti il rapporto tra il flusso di luce utilizzato per illuminare l'area che interessa e il flusso totale emesso dalla lampada. Ove sono in vigore norme per la limitazione dell'inquinamento luminoso l'uso di questi apparecchi è proibito.

In sintesi per la classe di appartenenza a seconda del grado di abbagliamento si può vedere la tabella seguente.

CLASSE APPARECCHIO	MASSIMO VALORE AMMESSO DELL'INTENSITA' LUMINOSA RISPETTO ALLA VERTICALE		DIREZIONE DELL'INTENSITA' LUMINOSA MASSIMA
	a 80°	a 90°	
Cut-off (schermato)	30 cd/1000lm	10cd/1000lm	65°
Semi Cut-off	100 cd/1000lm	50 cd/1000lm	75°
Non Cut-off	qualsiasi	max 1000cd	--

Spettro di emissione delle lampade. I tipi di sorgenti luminose ritenuti idonei per l'illuminazione stradale sono numerosi e differiscono considerevolmente tra di loro per la composizione spettrale della luce emessa.

La distribuzione di luce di un apparecchio di illuminazione viene ottenuta grazie al **sistema ottico**.

La "distanza di visibilità" dipende sensibilmente dallo spettro di emissione.

Dallo spettro di emissione inoltre dipendono:

- l'acuità visiva;
- l'impressione di luminosità a parità di luminanza della superficie stradale;
- la velocità di percezione;
- il tempo di recupero visivo dopo essere stati soggetti ad abbagliamento.

Guida ottica. Per guida ottica s'intende la capacità di un impianto di illuminazione di dare all'utente un'immagine immediatamente riconoscibile del percorso da seguire fino ad una distanza che dipende dalla massima velocità permessa su quel tronco di strada. La guida ottica contribuisce alla sicurezza e alla facilità della guida. Perciò, essa è particolarmente importante per le intersezioni.

Tra i fattori che influiscono sulla guida ottica nelle intersezioni vi sono il colore della luce, l'altezza dei pali, il livello di luminanza, la disposizione dei centri luminosi.

L'emissione luminosa di una sorgente si ripartisce nello spazio generalmente secondo un diagramma di forma pressoché sferica.

Per ottenere un'elevata e uniforme luminanza della carreggiata e contemporaneamente garantire una sufficiente limitazione dell'abbagliamento, la forma della superficie di ripartizione delle intensità di un apparecchio illuminante deve rispondere a determinati requisiti. Innanzitutto occorre che la curva di ripartizione nel piano verticale parallelo all'asse stradale si presenti allungata in modo che le intensità massime risultino radenti alla strada, in ambedue i sensi di marcia: in queste condizioni le intensità luminose riflesse dalla pavimentazione nella direzione di osservazione normale di un guidatore risultano pure massime.

Nel caso di una strada a senso unico di circolazione, sarebbe sufficiente indirizzare le intensità massime solo in senso contrario a quello di marcia: l'efficienza dell'impianto, valutata in base al rapporto fra luminanza media della carreggiata e flusso luminoso emesso dalla sorgente, risulterebbe evidentemente maggiore che con l'impiego di apparecchi con emissione simmetrica del flusso, dato che le intensità emesse nello stesso senso della marcia darebbero luogo a riflessioni assai modeste in direzione dell'osservatore.

In senso trasversale alla strada, la superficie di ripartizione deve risultare sufficientemente piena, in modo da interessare la strada in tutta la sua larghezza; al di là di un dato angolo, l'emissione luminosa deve essere tuttavia bruscamente ridotta, in modo da evitare spreco di luce.

Il requisito della limitazione dell'abbagliamento sarà infine soddisfatto limitando le emissioni di luce nelle direzioni più ravvicinate all'orizzontale, che vengono a trovarsi assai prossime alla direzione di osservazione dei conducenti.

Surround Ratio (SR). E' un parametro di valutazione che, mediante un indice adimensionale, esprime il rapporto tra gli illuminamenti medi sul bordo della strada. In fase progettuale va rispettato il valore minimo del SR in modo da agevolare la visione ai lati del percorso, così che il conducente del veicolo riesca a individuare in anticipo un potenziale pericolo come un ostacolo in movimento verso la sede stradale.

1.2 CLASSIFICAZIONE DELLE STRADE E PRESCRIZIONI

1.2.1 La Norma Tecnica

Le tabelle che seguono permettono di ricavare per ogni tipo di strada la categoria di riferimento utilizzando i valori prescritti della UNI EN 13201-2.

La categoria identifica una condizione di illuminazione in grado di soddisfare i requisiti per l'illuminazione di una data zona di studio. La normativa individua **sei** categorie illuminotecniche principali: **ME, CE, S, A, ES** ed **EV**, a loro volta suddivise in sottocategorie numerate; Si riportano di seguito quelle relative alle condizioni di illuminazione da soddisfare nel presente progetto.

1. **Categorie ME:** riguardano i conducenti di veicoli motorizzati su strade che consentono velocità di marcia medio/alte; pertanto tali categorie si basano sulla luminanza del manto stradale;
 2. **Categorie CE:** riguardano i conducenti di veicoli motorizzati riferiti a zone di conflitto, quali strade in zone commerciali, incroci stradali, rotonde e zone con presenza di coda. Tali categorie si applicano anche a pedoni e ciclisti. Esse si basano sull'illuminamento della zona della strada;
 3. **Categorie S e A:** riguardano pedoni e ciclisti su zone pedonali e piste ciclabili, corsie di emergenza e altre zone della strada separate o lungo la carreggiata di una via di traffico, strade pedonali, aree di parcheggio, cortili scolastici, ecc. Le categorie S fanno riferimento all'illuminamento orizzontale, mentre le categorie A si riferiscono all'illuminamento emisferico.
- I. Categoria illuminotecnica di riferimento:** Dipende dal tipo di strada della zona di studio ed è sintetizzata nella tabella sotto riportata in funzione del Codice della strada e del DM 6792 del 5/11/2001:

Classificazione Strada	Carreggiate indipendenti (min)	Corsie per senso di marcia (min)	Altri requisiti minimi
A- autostrada	2	2+2	
B- extraurbana principale	2	2+2	tipo tangenziali e superstrade
C- extraurbana secondaria	1	1+1	- con banchine laterali transitabili - S.P. oppure S.S
D- urbana a scorrimento veloce	2	2+2	limite velocità >50Km/h
D- urbana a scorrimento	2	2+2	limite velocità <50 Km/h
E- urbana di quartiere	1	1+1 o 2 nello stesso senso di marcia	-solo proseguimento strade C -con corsie di manovra e parcheggi esterni alla carreggiata
F- extraurbana locale	1	1+1 o 1	Se diverse strade C
F- urbana interzonale	1	1+1 o 1	Urbane locali di rilievo che attraversano il centro abitato
F- urbana locale	1	1+1 o 1	Tutte le altre strade del centro abitato

La tabella sotto riporta le corrispondenze tra le diverse tipologie stradali e le categorie illuminotecniche di riferimento e permette di risalire alla classificazione illuminotecnica del tracciato viario:

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h-1]	Categoria Illuminotecnica di riferimento
A1	Autostrade extraurbane	130-150	M1
	Autostrade urbane	130	
A2	Strade di servizio alle autostrade	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 interquartiere	50	M3
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2)	70 - 90	M2
	Strade locali extraurbane	50	M4
	Strade locali urbane: Centri storici	30	C3/P1
	Strade Locali Urbane: altre situazioni	30	C4/P2
	Strade locali urbane: aree pedonali, centri storici (utenti principali pedoni ..)	5	C4/P2
	Strade locali interzonali	50	M3
Fbis	Itinerari ciclo-pedonali	Non dichiarato	P2

II. Categoria illuminotecnica di progetto: L'analisi dei parametri di influenza viene condotta dal progettista all'interno dell'analisi del rischio. Nello specifico la valutazione della complessità del campo visivo è di responsabilità del progettista ed è elevata nel caso di strada tortuosa, con numerosi ostacoli alla visione anche in funzione di elevate velocità. La norma UNI11248 introduce e propone alcuni possibili parametri di influenza ovviamente non tutti applicabili, in ciascun ambito illuminotecnico. Nello specifico il prospetto che segue (estratto della UNI11248) riporta i diversi parametri utili per ridurre/incrementare la classificazione del territorio ai fini del risparmio energetico, ed in particolare i seguiti applicabili a seconda dell'ambito specifico (i valori sono inseriti esclusivamente a titolo indicativo e possono anche

essere aumentati/diminuiti dal progettista in quanto se le condizioni lo permettono è necessario favorire il risparmio energetico la colonna 4 infatti è una proposta di estensione di tali parametri):

Parametro d'influenza		Valori indicativi della UNI11248
Compito visivo normale		-1 (declassamento) non sommabili e non applicabili alla categoria A1
Condizioni non conflittuali		
Flusso del traffico <50% del massimo previsto per quella categoria		
Flusso del traffico <25% del massimo previsto per quella categoria		-2 (declassamento)
Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali		-1(declassamento)
Colore della luce	Con indice di resa dei colori maggiore o uguale a 60 si può ridurre la categoria illuminotecnica	- 1 (declassamento)
	Con indice di resa dei colori minore di 30 si deve incrementare la categoria illuminotecnica	1 (incremento)
Presenza di intersezioni a raso		1 (incremento)
Presenza di passaggi pedonali		
Pericolo di aggressione o furti		
Presenza di dispositivi rallentatori		
Presenza di veicoli parcheggiati al margine della carreggiata.		

Per quanto riguarda la categoria di progetto dei marciapiedi si fa ricorso alle **categorie illuminotecniche serie S: ambienti a carattere ciclopedonale** (marciapiedi, piste ciclabili, corsie di emergenza ed altre separate o lungo la carreggiata, strade urbane, strade pedonali, aree di parcheggio, strade interne a complessi scolastici, ...).

III. Categoria illuminotecnica di esercizio: Le classi illuminotecniche di esercizio vengono determinate in relazione ad aspetti di contenimento dei consumi energetici; sono quelle classi che tengono conto del variare nel tempo dei parametri di influenza quali, in ambito stradale, il variare dei flussi di traffico durante la giornata. La scelta della categoria illuminotecnica di esercizio è legata all'adozione di un impianto con caratteristiche variabili nel tempo (sorgenti luminose dimmerabili, cioè attenuabili con regolatore elettrico), che rappresenta una soluzione per assicurare condizioni di risparmio energetico. Quindi, per quelle ore della giornata in cui l'infrastruttura in progetto si trova ad operare con un flusso di traffico inferiore al 50% di quello massimo, viene attribuita una classe illuminotecnica di un livello inferiore rispetto a quella di progetto; inferiore di due livelli nel caso in cui il flusso scenda al di sotto del 25%.

1.2.2 Le Linee Guida regionali

Le linee guida per la riduzione dell'inquinamento luminoso e relativo risparmio energetico (delibera giunta regione Sardegna n 48/31 del 29/11/2007) indicano al paragrafo 7 "Requisiti tecnici e modalità d'impiego

degli impianti di illuminazione" che tutti i nuovi impianti di illuminazione esterna devono essere eseguiti nel rispetto dei criteri di riduzione dell'inquinamento luminoso e di risparmio energetico, a tale scopo devono possedere alcuni requisiti minimi, tra i quali:

1. essere costituiti da apparecchi illuminanti aventi un'intensità luminosa massima di 0 candele (cd) per 1000 lumen di flusso luminoso totale emesso a 90 gradi ed oltre (la rilevazione di tale valore può essere compreso nel range di 0 - 0,49 cd. in virtù dell'errore strumentale della misurazione del valore 0);
2. essere equipaggiati con lampade ad avanzata tecnologia ed elevata efficienza luminosa, quali al sodio ad alta o bassa pressione, ovvero di lampade con almeno analoga efficienza in relazione allo stato della tecnologia e dell'applicazione, in luogo di quelle con efficienza luminosa inferiore. I nuovi apparecchi d'illuminazione a led possono essere impiegati anche in ambito stradale comunque solo nel rispetto del punto 1 e se l'efficienza delle sorgenti è maggiore di 90 lm/w;
3. avere luminanza media mantenuta delle superfici da illuminare e illuminamento non superiore a livelli minimi previsti dalle norme tecniche di sicurezza;
4. garantire un rapporto fra **interdistanza e altezza delle sorgenti luminose** non inferiore al valore di **3,7**. Sono consentite soluzioni alternative, solo in presenza di ostacoli quali alberi, o in quanto funzionali alla certificata e documentata migliore efficienza generale dell'impianto. Soluzioni con apparecchi lungo entrambi i lati della strada (bilaterali frontali e quinconce) sono accettabili, se necessarie, solamente per carreggiate **con larghezza superiore a 10 metri o per cui sono richieste luminanze superiori o uguali a 1.5cd/m²** come nel caso in progetto;
5. essere provvisti di appositi dispositivi, applicati puntualmente su ciascuna lampada o in generale sull'intero impianto, in grado di ridurre e controllare il flusso luminoso in misura superiore al 30% rispetto al pieno regime di operatività entro le ore 24 o comunque entro l'orario stabilito dall'Amministrazione Comunale.

1.3 VALORI DEI PARAMETRI ILLUMINOTECNICI

I livelli di luminanza, di illuminamento ed i rapporti di uniformità indicati nelle seguenti tabelle sono valori minimi, mentre per quanto riguarda l'indice TI relativo all'abbagliamento si tratta di valori massimi.

Parametri fotometrici associati alle categorie illuminotecniche relative alle strade con traffico motorizzato (serie M):

Categoria illuminotecnica di riferimento	Luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto stradale asciutto o bagnato				Abbagliamento debilitante	Illuminazione di contiguità
	Asciutto			Bagnato	Asciutto	Asciutto
	L (minima mantenuta)	U ₀ [minima]	U ₁ ^{a)} [minima]	U _{0w} ^{b)} [minima]	F _{TI} ^{c)} [massima]	R _{EI} ^{c)} [massima]
M1	2	0.4	0.70	0.15	10	0.35
M2	1.5	0.4	0.7	0.15	10	0.35
M3	1.0	0.4	0.6	0.15	15	0.30
M4	0.75	0.4	0.6	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

Per quanto riguarda l'illuminamento dei marciapiedi, la classificazione illuminotecnica in base alle UNI EN 13201 e UNI 11248 definisce i valori progettuali in termini di illuminamento (lx).

Parametri fotometrici associati alle categorie illuminotecniche relative ai marciapiedi:

Categoria illuminotecnica di riferimento	$E_{sc,minimo}$ (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

2. PROGETTO DELL'IMPIANTO

Parte della viabilità a servizio dell'agglomerato Industriale di Oristano è già dotata di impianto di illuminazione pubblica;

Il progetto in argomento riguarda la realizzazione dell'Impianto di Illuminazione Pubblica nelle seguenti Vie, ubicate nel Corpo Centrale dell'Agglomerato Industriale di Oristano:

- Via Marongiu
- Via Sant'Antioco;
- Via E. Martini
- Via Carloforte;
- Via E. Cellino
- Via Maldiventre;
- Via Tavolara
- Via la Maddalena;
- Via Asinara;
- Via Caprera;
- Via Abarossa

Per queste strade l'impostazione progettuale si basa sulla scelta di apparecchi illuminanti che garantiscano il rispetto dei limiti di luminanza previsti dalle Norme di sicurezza determinando al contempo un sostanziale miglioramento in termini di risparmio energetico. Verranno utilizzati a tale scopo apparecchi che, a parità di luminanza, conseguano impieghi ridotti di potenza elettrica, quali gli apparecchi a LED.

Il progetto prevede la configurazione di un nuovo impianto a partire dall'impostazione dello schema dei centri luminosi (per il quale si è optato per una disposizione su un solo lato nel rispetto dei valori minimi previsti dalle norme di sicurezza).

Le strade sono state suddivise in tre gruppi in base alle caratteristiche della sezione stradale:

Gruppo I: strade dotate di marciapiedi aventi la sezione di seguito schematizzata

Marciapiede (1,50m)	Banchina (1,75m)	Corsia (3,50m)	· · ·	Corsia (3,50m)	Banchina (1,75m)	Marciapiede (1,50m)
------------------------	---------------------	-------------------	-------------	-------------------	---------------------	------------------------

Rientrano in questo gruppo:

- Via Sant'Antioco;
- Via Carloforte;
- Via E. Cellino
- Via Tavolara
- Via la Maddalena;
- Via Asinara.
- Via Caprera;

Gruppo II: strade non dotate di marciapiedi aventi la sezione di seguito schematizzata

Banchina (1,75m)	Corsia (3,50m)	· · ·	Corsia (3,50m)	Banchina (1,75m)
---------------------	-------------------	-------------	-------------------	---------------------

Rientra in questo gruppo:

Via G. Marongiu.

Via E. Martini;

Via Abarossa.

Gruppo III : strade dotate di marciapiedi aventi la sezione di seguito schematizzata

Marciapiede (1,50m)	Corsia (3,50m)	· · ·	Corsia (3,50m)	Marciapiede (1,50m)
------------------------	-------------------	-------------	-------------------	------------------------

Rientrano in questo gruppo:

- Via Maldiventre;

Per tutte le strade si è inoltre prestato particolare attenzione al valore della luminanza media mantenuta delle superfici delle carreggiate da illuminare al fine di ottenere per tale parametro valori uguali o prossimi ai livelli minimi previsti dalle Norme UNI.

2.1 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA ILLUMINOINOTECNICA

2.1.1 Classificazione delle strade:

Classificazione della strada: F - Strada Urbana locale.

- **Categoria illuminotecnica: M - Carreggiata stradale avente le seguenti caratteristiche:**
 velocità dell'utente principale compresa tra 30 e 50 km/h;
 prevalente traffico motorizzato;
 presenza di pedoni e ciclisti;
 fondo prevalentemente asciutto;

presenza di incroci a intervalli di circa 230 metri lungo via Parigi;
Presenza di veicoli parcheggiati ai margini della carreggiata.

- *Parametri di riferimento:*

Luminanza (cd/m^2);

Uniformità generale di luminanza;

Uniformità longitudinale di luminanza;

Incremento percentuale del contrasto rispetto allo sfondo (Threshold Increment).

Categoria illuminotecnica di riferimento	Categoria illuminotecnica di progetto	Categoria illuminotecnica di esercizio	Lm (min. mantenuta) (cd/m ²)	U ₀ (minima)	U ₁ (minima)	TI (max)	SR
M4	M4	M5	0,75	0,40	0,60	15%	0,3

Marciapiedi:

- **Categoria illuminotecnica: S - Marciapiedi;**

- Parametri di riferimento:

Illuminamento medio (lx);

Illuminamento minimo (lx);

Incremento percentuale del contrasto rispetto allo sfondo (Threshold Increment).

In merito alle strade incluse nelle opere di completamento dell'impianto, trattandosi di aree con scarso traffico pedonale, in modo particolare nelle ore notturne, si è optato per la categoria illuminotecnica di progetto SC4:

Elemento dell'infrastruttura	Categoria illuminotecnica di progetto	Em (min. mantenuto)
Marciapiede	SC4	3 lx

2.2 SCELTA DELLO SCHEMA DELL'IMPIANTO

Tale valutazione è relativa ai nuovi impianti da realizzarsi, a completamento dell'intera infrastruttura a servizio del Corpo Centrale dell'Agglomerato Industriale di Oristano.

Una volta individuata la categoria illuminotecnica, il progetto dell'impianto di illuminazione su un tronco o su un'intersezione stradale, richiede, in primo luogo, la definizione delle sue caratteristiche geometriche. I parametri da mettere in conto sono quelli di seguito elencati:

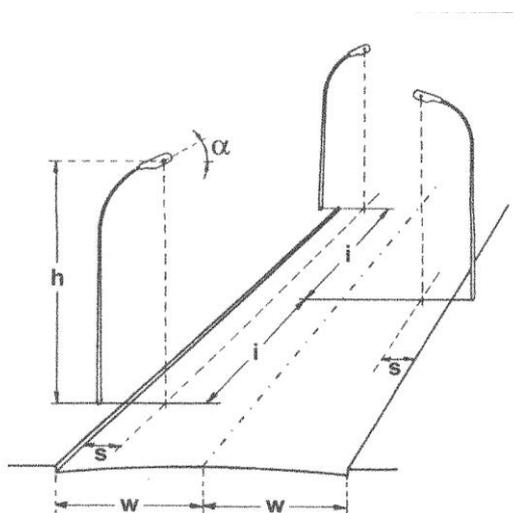
h = altezza dei centri luminosi su piano della carreggiata;

i = interdistanza fra i centri luminosi;

w = larghezza della porzione di carreggiata di competenza degli apparecchi illuminanti;

s = sporgenza sulla carreggiata degli sbracci dei pali di illuminazione;

α = angolo di inclinazione dell'attacco dell'apparecchio rispetto all'orizzontale;



Altezza dei centri luminosi (h):

L'altezza dei centri luminosi deve tener conto della larghezza della strada da illuminare.

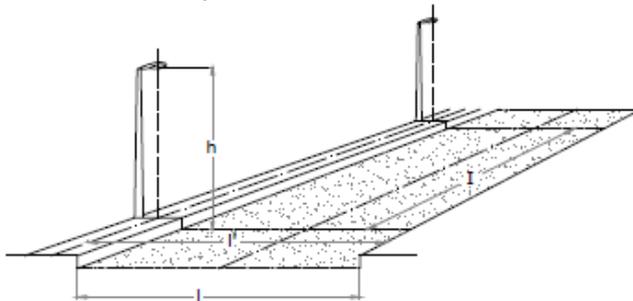
Tale proporzionamento risulterà un compromesso fra due esigenze divergenti: da un lato, l'esigenza di installare i centri più in alto possibile per ottenere che essi si trovino in posizione prossima ai piani verticali passanti per l'occhio dell'osservatore e ogni punto della carreggiata. Da un altro lato vi è l'esigenza di ottenere una soddisfacente utilizzazione del flusso luminoso sulla carreggiata poiché tanto più alto è il centro luminoso sulla strada, tanto minore è la porzione di flusso che investe la carreggiata e, per cui si dovrebbe optare ad abbassare il più possibile i centri luminosi.

L'altezza dei centri luminosi deve essere rapportata alla larghezza della porzione di strada (w) che ogni centro è chiamato ad illuminare. In un impianto con centri installati su due lati, ogni centro è, in generale, preposto a fornire l'illuminazione di metà strada, per cui la sua altezza va dimensionata in funzione di metà larghezza della carreggiata.

Un buon compromesso fra le due esigenze sopra evidenziate si ottiene con un'altezza dei centri luminosi uguale o un po' maggiore della porzione di strada da illuminare.

Indicando con la distanza l' dalla proiezione del centro sul piano della strada al bordo opposto della parte di carreggiata da illuminare, affinché si abbia la necessaria uniformità di luminanza sulla carreggiata nel senso trasversale della stessa vengono generalmente consigliati i seguenti Valori:

- per tutte le sorgenti luminose, salvo quelle al sodio a bassa pressione: $h \geq l'$;
- per tutte le sorgenti al sodio a bassa pressione: $h \geq 1,2 l'$;



Per ottimizzare i risultati verranno impiegati apparecchi illuminanti a forte controllo trasversale del flusso luminoso, in modo da consentire le maggiori altezze di installazione.

Come dato indicativo per il dimensionamento dell'impianto in oggetto, considerando che verranno utilizzate lampade a **LED**, verrà scelto un valore $H = 9,00 \text{ m} \geq (1,75 + 3,50 + 3,50) \text{ m} = 8,75 \text{ m}$.

Interdistanza dei Centri Luminosi (i):

L'**interdistanza** fra i centri è il parametro che condiziona maggiormente i costi di installazione ed esercizio di un impianto, infatti, maggiore è l'interdistanza, minori risultano tali costi. Però l'interdistanza condiziona anche l'uniformità di luminanza della carreggiata e, quindi, occorrerà distanziare i centri luminosi fra loro il più possibile, compatibilmente con il raggiungimento dei valori massimi di disuniformità consentiti.

Per ottenere un'uniformità di luminanza accettabile con gli apparecchi illuminanti e le pavimentazioni in gioco, occorrerà distanziare i centri nella misura di **3 - 4 volte** la loro altezza.

Per quanto riguarda le *linee guida per la riduzione dell'inquinamento luminoso, al paragrafo 7, punto III comma b*, prescrivono per i nuovi impianti un rapporto fra interdistanza e altezza delle sorgenti luminose non inferiore al valore di 3,7.

Il rapporto l/h assume quindi i seguenti valori per le nuove disposizioni stradali:

	Altezza di montaggio (h)	Interdistanza sorgenti luminose (l)	l/h
Strade Gruppo I	9,00 m	30,00 m	$3,33 \approx 3,7$
Strade Gruppo II	9,00 m	30,00 m	$3,33 \approx 3,7$

Strade Gruppo III	9,00 m	30,00 m	3,33 ≈ 3,7
--------------------------	--------	---------	------------

Sporgenza dei Centri Luminosi (s):

La **sporgenza** dei centri luminosi sulla carreggiata va dimensionata tenendo conto di opposte esigenze:

- ottenere i più alti livelli di luminanza (con richiesta di sporgenze elevate);
- allontanare il più possibile il palo dal bordo della carreggiata, per limitare il pericolo di collisioni con gli autoveicoli.

Nella pratica ci si orienta su valori di sporgenza compresi fra 0 e 1/5 della larghezza della strada. Nell'intento di mantenere sulla superficie della carreggiata valori di luminanza compatibili con la categoria sopra determinata, pur garantendo in corrispondenza dei marciapiedi valori di illuminamento accettabili.

In Progetto sono previsti due tipi di sbracci: pari a 1,50 m e a 2,5 m da cui derivano i valori di arretramento come riportati nei tabulati in allegato.

Inclinazione della parte terminale del sostegno

L'inclinazione deve essere quella prescritta dal costruttore dell'apparecchio illuminante, prestando comunque particolare attenzione alla limitazione dell'abbagliamento. Nel caso specifico si assumono le seguenti inclinazioni:

	Inclinazione
Strade Gruppo I	0
Strade Gruppo II	0°
Strade Gruppo III	0°

Disposizione dei Centri Luminosi:

La disposizione dei centri è caratterizzata: dalla loro altezza; dalla loro interdistanza; dalla loro sporgenza sulla carreggiata; dall'angolo di inclinazione dell'attacco dell'apparecchio rispetto l'orizzontale; dallo schema di installazione.

I centri luminosi possono essere installati secondo i seguenti schemi fondamentali

- lungo un solo lato della strada;
- lungo ambedue i lati della strada, con i centri affacciati;
- lungo ambedue i lati della strada, con i centri a quinconce;
- lungo l'asse della strada.

Per il presente progetto viene scelta la disposizione lungo un solo lato. Le "Linee Guida Regionali per la Riduzione dell'Inquinamento Luminoso e Relativo Consumo Energetico" prevedono che soluzioni con apparecchi lungo entrambi i lati della strada (bilaterali frontali e quinconce) siano accettabili, se necessarie, solamente per carreggiate con larghezza superiore a 10 metri.

2.3 CALCOLO ILLUMINOTECNICO

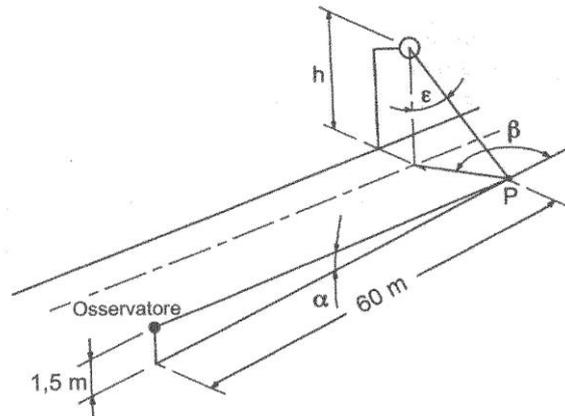
Si passa ora al calcolo illuminotecnico, che include tutti gli algoritmi geometrico - matematici che servono a ricavare i valori dei principali parametri di valutazione, avendo come input i dati geometrici sopra descritti e i dati fotometrici caratteristici degli apparecchi illuminanti e della pavimentazione stradale.

In Italia la Norma UNI 11248 e la Norma UNI EN 13201-3 impongono un algoritmo di calcolo del tipo "punto a punto". Si tratta cioè di un metodo che prevede, per i punti di una griglia, il calcolo dei parametri fotometrici in funzione di una serie di fattori legati alle caratteristiche di riflessione della pavimentazione stradale, all'ubicazione della sorgente di luce ed alla posizione dell'osservatore.

Prima di procedere al calcolo dell'impianto occorre classificare la pavimentazione stradale in funzione delle sue proprietà riflettenti. A tal fine bisogna valutare per la superficie stradale in esame il coefficiente di luminanza.

Con riferimento allo schema sotto riportato, il coefficiente di luminanza (q) in un punto P è valutato considerando l'occhio dell'osservatore posto alla distanza di 60 metri dal punto ad un'altezza di 1,5 metri dal piano viario, con angolo di osservazione $\alpha = 1^\circ$, in tale scenario la posizione della sorgente di luce è individuata dagli angoli β ed ϵ , dove β è l'angolo azimutale compreso tra il prolungamento della proiezione orizzontale dell'asse dell'osservatore e la retta che congiunge P con la proiezione del centro luminoso sulla carreggiata, ed ϵ è l'angolo zenitale di inclinazione del raggio luminoso.

Per gli scopi illuminotecnici, si preferisce considerare il coefficiente ridotto di luminanza (r), calcolabile a mezzo della seguente formula: $r = q \cdot \cos^3 \epsilon$



In assenza di specifiche informazioni derivanti da misurazioni di grandezze fotometriche quali la specularità e il grado di chiarezza della superficie stradale, si può far riferimento alle "pavimentazioni tipo" normalizzate dalla CIE (Commission Internationale de l'Eclairag). In Italia si possono considerare esclusivamente le pavimentazioni tipo classificate come C_1 e C_2 ; per quanto riguarda le pavimentazioni in conglomerato bituminoso si può considerando rappresentativa la classe C_2 , la quale presenta i seguenti valori dei coefficienti ridotti di luminanza:

Coefficienti ridotti di luminanza (r) per pavimentazioni di classe C_2

β	ϵ	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	105	120	135	150	165	180		
0	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	
0,25	362	358	371	364	371	369	362	357	351	349	348	340	328	312	299	294	298	288	292	281				
0,50	379	368	375	373	367	359	350	340	328	317	306	280	266	249	237	231	231	227	235					
0,75	380	375	378	365	351	334	315	295	275	256	239	218	198	178	175	176	176	169	175	176				
1,00	372	375	372	354	315	277	243	221	205	192	181	152	134	130	125	124	125	129	128	128				
1,25	375	373	352	318	265	221	189	166	150	136	125	107	91	93	91	88	94	97	97					
1,50	354	352	336	271	213	170	140	121	109	97	87	76	67	65	66	66	67	68	71	71				
1,75	333	327	302	222	166	129	104	90	75	68	63	53	51	49	49	47	52	51	53	54				
2,00	318	310	266	180	121	90	75	62	54	50	48	40	38	38	38	41	41	43	45					
2,50	268	262	205	119	72	50	41	36	33	29	26	25	23	24	25	24	26	27	29	28				
3,00	227	217	147	74	42	29	25	23	21	19	18	16	16	17	18	17	19	21	21	23				
3,50	194	168	106	47	30	22	17	14	13	12	12	11	10	11	12	13	15	14	15	14				
4,00	168	136	76	34	19	14	13	11	10	10	10	8	8	9	10	9	11	12	11	13				
4,50	141	111	54	21	14	11	9	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	10	10	11				
5,00	126	90	43	17	10	8	8	7	6	6	6	6	6	7	6	6	6	7	8	8	8	8	9	
5,50	107	79	32	12	8	7	7	7	6	6	5													
6,00	94	65	26	10	7	6	6	6	6	5														
6,50	86	56	21	8	7	6	5	5																
7,00	78	50	17	7	5	5	5	5																
7,50	70	41	14	7	4	4	4																	
8,00	63	37	11	5	4	4																		
8,50	60	37	10	5	4	4																		
9,00	56	32	9	5	4	3																		
9,50	53	28	9	4	4	4																		
10,0	52	27	7	5	4	3																		
10,5	45	23	7	4	3	3																		
11,0	43	22	7	3	3	3																		
11,5	43	22	7	3	3	3																		
12,0	42	20	7	4	3																			

Classe: C_2
Pavimentazione
in conglomerato bituminoso

Una volta individuata la classe della pavimentazione stradale, è possibile calcolare, per il generico punto P, i valori dell'illuminamento orizzontale (E_p) e della luminanza (L_p) attraverso le seguenti relazioni:

$$E_p = \frac{I_{C-\gamma} \cdot \Phi \cdot MF \cdot \cos^3 \varepsilon \cdot 10^{-4}}{h^2}$$

$$L_p = \frac{I_{C-\gamma} \cdot r \cdot \Phi \cdot MF \cdot 10^{-4}}{h^2}$$

Dove:

E_p = illuminamento orizzontale nel punto P (lx);

L_p = luminanza nel punto P (cd/m²);

$I_{C-\gamma}$ = intensità luminosa nel sistema di riferimento C- γ deducibile dalle curve di intensità luminosa caratteristiche dell'apparecchio illuminante (cd/klm);

r = coefficiente ridotto di luminanza;

Φ = flusso luminoso della sorgente luminosa installata in un apparecchio (klm);

MF = prodotto fra il fattore di manutenzione della lampada ad il fattore di manutenzione dell'apparecchio luminoso;

ε = angolo zenitale di inclinazione del raggio luminoso (gradi sessagesimali);

h = altezza d'installazione dell'apparecchio luminoso (m).

se il punto P è illuminato da più apparecchi, si ha:

$$E_p = \sum_{i=1}^n E_i$$

$$L_p = \sum_{i=1}^n L_i$$

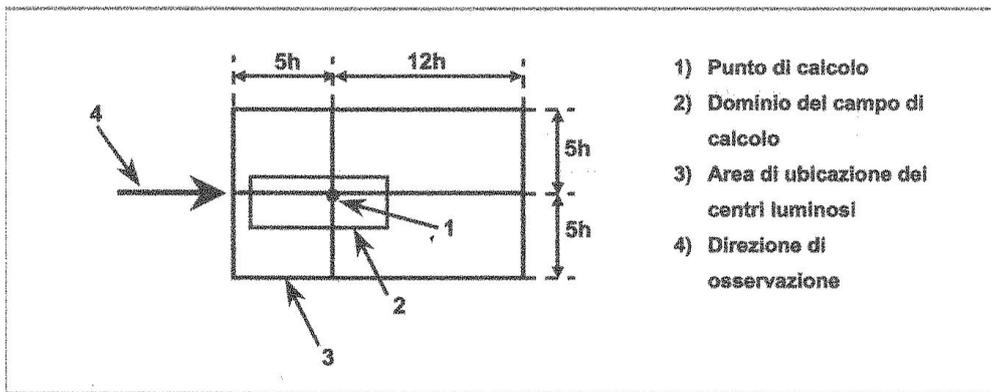
Dove:

E_i = contributo all'illuminamento nel punto P da parte dell'i-esimo apparecchio luminoso (lx);

L_i = contributo alla luminanza nel punto P da parte dell'i-esimo apparecchio luminoso (cd/m²);

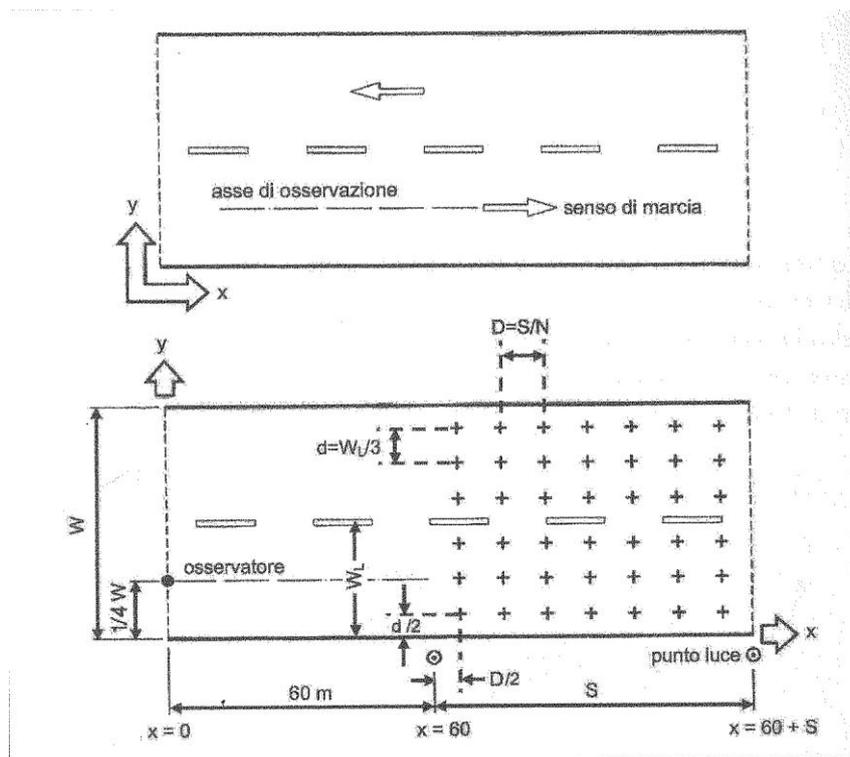
n = numero di apparecchi dislocati nel tratto di strada composto dai due tronchi di lunghezza pari a $5h$ verso l'osservatore e a $12h$ nella direzione opposta, e di larghezza pari a $5h$ a destra e a sinistra.

La Norma UNI EN 13201-3 impone che il calcolo dei valori di illuminamento e di luminanza, con le formule precedenti, si estenda per tutta la larghezza della strada (w) e per una lunghezza pari all'interdistanza tra gli apparecchi (S). L'osservatore è ubicato a 60 m dall'inizio della zona, a una distanza dal bordo pari a $w/4$.



I punti di calcolo P, relativi alla singola corsia di larghezza w_L , risultano compresi all'interno di un reticolo costituito dall'intersezione di 3 linee longitudinali e di N linee trasversali, definite in questo modo:

- *linee longitudinali*: distanti dal bordo della corsia di marcia di una quantità pari a $1/6$ della larghezza della corsia medesima, e tra loro di uno spazio pari a $1/3$ di w_L ;
- *linee trasversali*: la cui interdistanza (D) è uguale a S/N , dove S è l'iterdistanza tra i punti luce ed N vale 10 per $S \leq 30$ m ed è pari al minimo valore intero tale che D risulti minore o uguale a 3 m per $S > 30$ m). La prima linea trasversale sarà posizionata ad una distanza pari a $D/2$ rispetto al primo centro luminoso.



Il passo finale del calcolo illuminotecnico dell'impianto consiste nella valutazione dei parametri che devono essere poi confrontati con i valori prescritti dalle Norme e dalle Linee Guida. In particolare:

- la *luminanza media* (L_m);
- l'*illuminamento orizzontale medio* (E_m);
- l'*uniformità di illuminamento* (U_0);
- l'*incremento del contrasto rispetto allo sfondo* (TI);

Poiché la ricerca numerica dei valori puntuali dei parametri illuminotecnici, per ogni punto delle maglie del reticolo illuminotecnico, presenta un certo grado di complessità e onerosità, si è ricorso all'ausilio di un software di calcolo.

Si allegano di seguito i tabulati di calcolo risultanti dall'utilizzo di un software specifico.