



# COMUNE DI FIRENZE

## Sistema Tramviario Fiorentino

RTI Progettisti:



### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO - FASE C

#### LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

#### IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE

#### Relazione tecnica illuminazione pubblica

COMUNE DI FIRENZE  
SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
ING. FILIPPO MARTINELLI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO  
ING. CHIARA BERSIANI

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE E DEL COORDINAMENTO FRA  
LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

ING. PAOLO MARCHETTI



#### Gruppo di Progettazione:

Ing. A. Piazza (Coordinatore Tecnico)  
Dott. Geol. F. Valdemarin (Progettazione Geologica)  
Ing. A. Benvenuti (Progetto Opere Idrauliche)  
Dott.ssa B. Sassi (Indagini Preliminari Archeologiche)  
Ing. F. Tamburini (Studi di carattere Ambientale)  
Ing. M. Angeloni (Valutazione Previsionale di Impatto Acustico)  
Ing. S. Caminiti (Prog. Ferrotramviario Studi Trasportistici)  
Ing. J. Wajs (Progetto Impianti Tecnologici)  
Ing. G. D'Angelo (Progetto Strutture)  
Ing. D. Salvo (Progetto Arch./Paesaggistico Inser. Urbanistico)  
Ing. F. Conti (Sicurezza - Prime Disposizioni)  
Ing. B. Rowenczyn (Piani Economici e Finanziari)  
Ing. G. Coletti (Progettazione Funzionale Depositi Tramviari)  
Ing. L. Costalli (Esperto in Esercizio)  
Ing. F. Azzarone (Impianti Meccanici)  
Ing. D. D'Apollonio (Impianti Elettrici)  
Ing. V. Astorino (Cantierizzazione)  
Ing. P. Caminiti (Viabilità Interferenti)  
Arch. A. Moscheo (PP.SS. Interferenti)  
Ing. A. Lucioni (CAM)  
Ing. D. Russo (Stime, Capitolati)

COMMESSA	LINEA	FASE	DISCIPLINA	TIPO/NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE
B382	42	SF	ILM	RT001	A	—	B382-4.2-SF-ILM-RT001-A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	Maggio 2019	EMISSIONE	VENEZIA	D'APOLLONIO	MARCHETTI
1					
2					

---

## Sommario

---

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. DEFINIZIONI ILLUMINOTECNICHE .....</b>	<b>5</b>
3.1 FLUSSO LUMINOSO .....	5
3.2 INTENSITÀ LUMINOSA .....	5
3.3 ILLUMINAMENTO .....	6
3.4 LUMINANZA.....	6
3.5 CURVE FOTOMETRICHE .....	7
3.6 RESA DEL COLORE .....	8
3.7 TEMPERATURA DEL COLORE.....	8
<b>4. REQUISITI ILLUMINOTECNICI DELL'IMPIANTO: LA NORMA UNI 11280 .....</b>	<b>10</b>

## 1. PREMESSA

---

La progettazione delle estensioni delle linee tranviarie nei comuni di Firenze, Campi Bisenzio e Sesto Fiorentino, si inserisce nel più ampio quadro previsionale del sistema tranviario della Città Metropolitana di Firenze, ideato con l'obiettivo di creare un sistema di mobilità organico, innervato su tutta la città di Firenze e principali centri urbani limitrofi.

L'illuminazione stradale deve permettere agli utenti di circolare di notte con la massima sicurezza ed il comfort più elevato possibile; l'obiettivo è quello di percepire distintamente, localizzandolo con certezza ed in tempo utile, i punti singolari della strada e gli ostacoli eventuali, per quanto possibile, senza l'aiuto dei fanali dell'autoveicolo.

L'impianto di illuminazione deve soddisfare, inoltre, le esigenze di guida visiva, in larga misura determinata dalla disposizione dei centri luminosi, dalla loro successione geometrica, dalla loro intensità luminosa e dal colore della luce emessa; affinché tali esigenze siano soddisfatte, si eviterà ogni discontinuità dell'impianto che non sia la conseguenza di punti singolari, per i quali sarà necessario richiamare l'attenzione degli automobilisti. La percezione sicura e rapida è possibile grazie al contrasto degli oggetti sul fondo; questo fondo è esteso alla totalità del campo visivo del conducente, che comprende, in ordine di importanza decrescente:

- la carreggiata ed i suoi bordi;
- il cielo, ivi compresi i punti luminosi formati dalla superficie visibile dei corpi illuminanti e delle lampade.

Più frequentemente, la percezione degli ostacoli si ottiene con l'effetto silhouette: l'ostacolo si distacca come ombra scura su fondo chiaro costituito dal rivestimento chiaro; poiché non si conosce a priori la natura dell'ostacolo, è auspicabile di prendere tutti i provvedimenti utili affinché il contrasto sia sufficiente. La possibilità di percepire questo contrasto è influenzata da:

- il livello medio della luminanza del manto stradale;
- l'uniformità di detta luminanza;
- l'illuminazione dei bordi e dei dintorni della strada;

- la limitazione dell'abbagliamento causato dall'installazione

Il livello di illuminamento, espresso in lux (un lux corrisponde all'illuminamento prodotto su una superficie di un metro quadrato dal flusso di 1 lumen incidente), è un'indicazione della quantità di luce ricevuta dalla carreggiata; si tratta di un'informazione utile, ma senza importanza pratica per l'apprezzamento della qualità visuale dell'impianto di illuminazione.

Ciò che conta è infatti l'aspetto della carreggiata illuminata, percepita dall'utente della strada; questo aspetto dipende dalla quantità di luce riflessa verso il conducente dalle diverse parti della carreggiata, ossia dalla luminanza, espressa in cd/mq, del suo rivestimento; esprime il flusso luminoso emesso non in tutto il semispazio ma nell'unità di angolo solido e nella direzione da esso individuata, e non più da un'area unitaria ma dalla proiezione di essa su un piano normale alla direzione della luce.

## 2. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO

Il progetto è stato redatto conformemente alle vigenti disposizioni di legge e all'attuale normativa in materia di impianti elettrici e di prevenzione dagli infortuni, al fine di garantire la sicurezza ed il buon funzionamento dell'impianto. In particolare si fa riferimento alle seguenti:

- UNI 11248 "Illuminazione stradale"
- D.Lgs. 09/04/2008 n.81 "Testo unico sulla sicurezza nei luoghi di lavoro"
- Legge 01/03/1968 n.186 "Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazione e impianti elettrici ed elettronici"
- D.M. 16/01/1996 n.29 "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi" (inclusa Circolare 04/07/1996 n.156AA.GG./STC.)
- D.M. 22/01/2008 n.37 "Attività di installazione di impianti all'interno di edifici"
  - Legge n. 791 del 18/10/1977 "Attuazione direttiva CEE n.73/23 relativa alle garanzie di sicurezza che deve possedere il materiale elettrico destinato ad essere utilizzato entro determinati limiti di tensione".
- Norme CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano)
- Norme UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione)
- Norme IEC (International Electrotechnical Commission)
- Marchio IMQ (Istituto Italiano del Marchio di Qualità)

Inoltre l'impianto di illuminazione risponderà ai requisiti della legge regionale n. 37 del 21 marzo 2000 "Norme in materia di riduzione dell'Inquinamento Luminoso e di risparmio energetico".

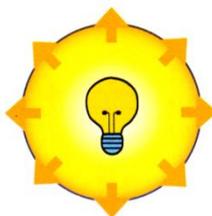
I riferimenti di cui sopra possono non essere esaustivi. Ulteriori disposizioni vigenti di legge, norme e delibere in materia, anche se non espressamente elencate, si considerano applicabili e rispettate.

### 3. DEFINIZIONI ILLUMINOTECNICHE

Nel presente paragrafo, a titolo informativo, verranno riepilogati alcune elementi di illuminotecnica utili a comprendere la materia ed i calcoli eseguiti nei successivi capitoli.

#### 3.1 FLUSSO LUMINOSO

Quantità di energia emessa nello spazio da una sorgente, nell'unità di tempo. Il flusso luminoso si indica con il simbolo  $\Phi$  e la sua unità di misura è il lumen (lm). Il rapporto tra il flusso luminoso emesso (lm) e la potenza elettrica assorbita (W), generano l'efficienza luminosa della lampada.



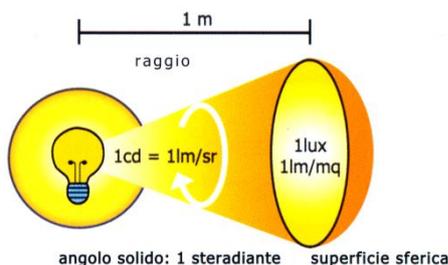
L'efficienza luminosa della lampada è diversa e superiore dell'efficienza del sistema d'illuminazione, poiché, generalmente, tra la rete elettrica e la lampada è interposto un alimentatore (driver). Tale alimentatore può essere elettromagnetico oppure elettronico e può anche avere caratteristiche di regolazione.

#### 3.2 INTENSITÀ LUMINOSA

Quantità di luce (I) emessa da una sorgente puntiforme che si propaga in una determinata direzione definita da un angolo solido unitario:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

La sua unità di misura è la candela (cd). L'insieme delle intensità luminose emesse da un apparecchio nelle varie direzioni, rappresenta la distribuzione fotometrica dell'apparecchio.

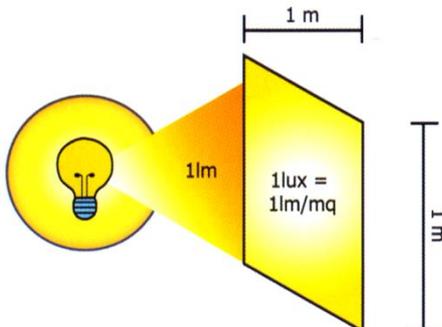


### 3.3 ILLUMINAMENTO

Quantità di luce proiettata su una data superficie. L'illuminamento si indica con il simbolo  $E$ , e la sua unità di misura è il lux (lx). L'illuminamento è un concetto orientato alla progettazione illuminotecnica ed è definito come:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

dove  $d\Phi$  è il flusso incidente sulla superficie (lm) e  $dA$  è l'area della superficie considerata ( $m^2$ ).

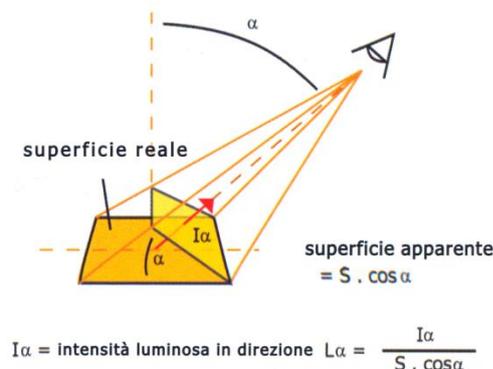


### 3.4 LUMINANZA

Rapporto tra intensità luminosa della sorgente verso una superficie normale alla direzione del flusso e la superficie emittente, così come viene vista dall'osservatore. La luminanza si indica con il simbolo  $L$  e la sua unità di misura è la  $cd/m^2$ :

$$L = \frac{I \alpha}{dS \cdot \cos \alpha}$$

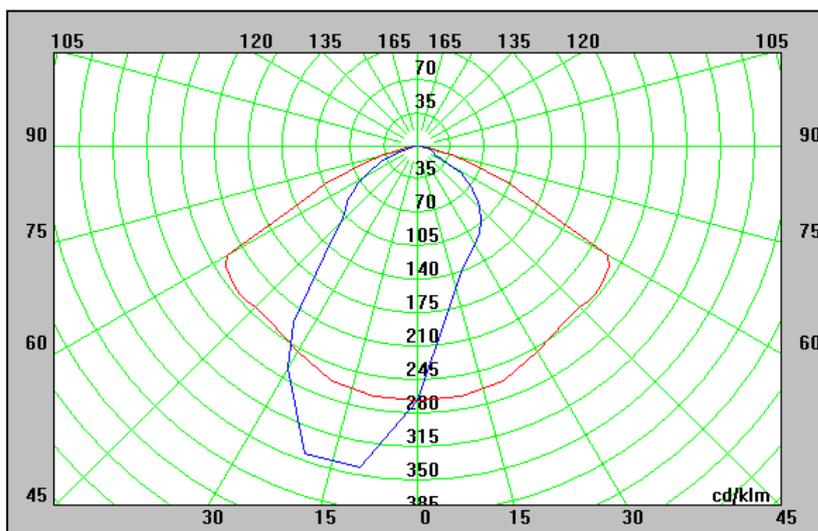
Dove  $I$  è l'intensità luminosa,  $dS$  è l'area della sorgente ed  $\alpha$  è l'angolo formato dalla verticale con la direzione della sorgente.



La luminanza è un concetto orientato alla progettazione illuminotecnica, particolarmente importante nell'illuminazione stradale (parametro normativo); la luminanza viene calcolata su tratti rettilinei ed è influenzata dal fattore di riflessione della superficie.

### 3.5 CURVE FOTOMETRICHE

L'insieme delle misure delle intensità luminose, emesse da un apparecchio, in ogni direzione, formano il solido fotometrico. Le sezioni di solido fotometrico nel piano longitudinale  $C0^{\circ}-180^{\circ}$  (linea rossa) e trasversale  $C90^{\circ}-270^{\circ}$  (linea blu), piani passanti per il centro ottico dell'apparecchio, vengono rappresentate dalle curve fotometriche:



Le curve fotometriche sono espresse in cd/klm, relative ad una lampada dello stesso tipo di quella montata nell'apparecchio illuminante, avente flusso luminoso di 1000 lm. Per gli

apparecchi da interno e per le armature stradali, le curve fotometriche sono rappresentate in coordinate polari  $C/\gamma$ , per i proiettori in coordinate cartesiane  $V/H$ .

### 3.6 RESA DEL COLORE

Capacità di una sorgente luminosa di riprodurre i colori naturali, senza distorsioni della tonalità del colore, così come risultano se illuminati da un corpo nero. L'indice di resa cromatica CRI (Color Rendering Index) si indica con  $R_a$  ed ha un valore compreso tra 0 e 100. Si possono identificare cinque categorie di resa cromatica:

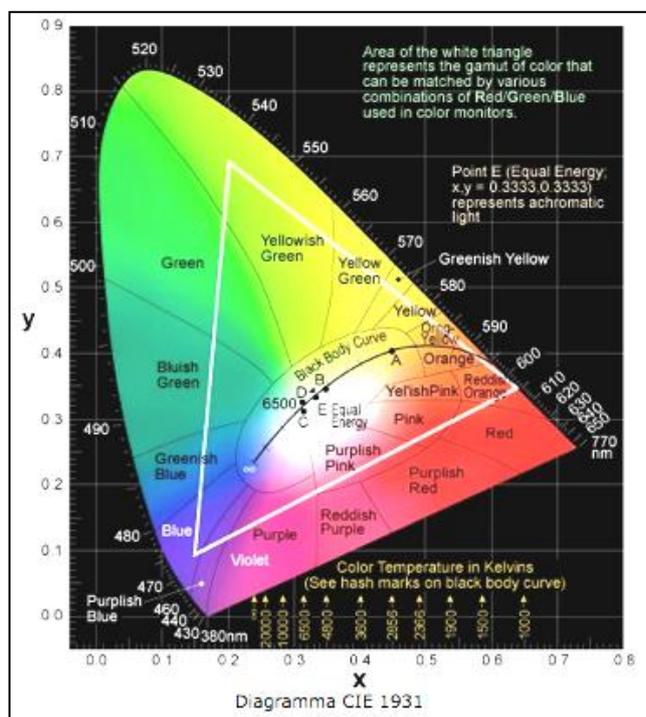
- |                       |                             |            |
|-----------------------|-----------------------------|------------|
| • $R_a = 90 \div 100$ | ottima resa dei colori      | CODICE 1A; |
| • $R_a = 80 \div 89$  | buona resa dei colori       | CODICE 1B; |
| • $R_a = 60 \div 79$  | discreta resa dei colori    | CODICE 2;  |
| • $R_a = 40 \div 59$  | sufficiente resa dei colori | CODICE 3;  |
| • $R_a = 20 \div 39$  | scarsa resa dei colori      | CODICE 4.  |

### 3.7 TEMPERATURA DEL COLORE

Parametro qualitativo delle lampade che, in funzione della composizione spettrale delle radiazioni emesse, restituisce rese del colore differenti. La sua unità di misura è il Kelvin (K) e nella norma UNI 12464, si descrive l'apparenza del colore secondo criteri soggettivi comuni come di seguito indicato:

- |                            |                                  |
|----------------------------|----------------------------------|
| • Luce calda               | $T_{CP} < 3300K$ ;               |
| • Luce intermedia (neutra) | $3300K \leq T_{CP} \leq 5300K$ ; |
| • Luce fredda              | $T_{CP} > 5300K$ .               |

Si intende per luce fredda una temperatura di colore elevata e per luce calda una temperatura di colore bassa a causa di abitudini psicologiche e non di effettive grandezze fisiche. E' bene evidenziare che, le lampade ad incandescenza hanno mediamente una  $T_{CP} \approx 2700$  K, le lampade a vapori di sodio alta pressione (SAP) hanno una  $T_{CP} \approx 2000$  K, le lampade a ioduri metallici hanno mediamente una  $T_{CP} \approx 4300$  K, le lampade fluorescenti e le sorgenti luminose a LED hanno una temperatura molto variabile a seconda del modello scelto. Inoltre, è utile ricordare che la luce solare diretta a mezzogiorno possiede una  $T_{CP} \approx 5000$  K, che è la stessa temperatura di colore che è stata standardizzata per i processi di stampa fotografica (D50). E' importante anche considerare che, nel diagramma cromatico CIE, il bianco puro detto anche punto acromatico di riferimento (E), posizionato nei pressi della curva Planckiana nel punto di uguale energia, si trova ad una temperatura di colore  $T_{CP} \approx 5000$  K. In situazioni di illuminazione architettonica, la scelta di questo parametro è del tutto soggettiva e spinta da considerazioni artistiche; in situazioni funzionali, dove il colore deve essere riprodotto il più fedelmente possibile, secondo considerazioni fisiche, la temperatura di colore della sorgente dovrebbe stare intorno ai 5000 K; tuttavia, l'essere umano è abitudinario ed erroneamente preferisce temperature di colore calde intorno ai 3000 K. Questo non è accettabile in situazioni di illuminazione funzionale; attualmente, un buon compromesso, è la scelta di sorgenti luminose aventi una temperatura di colore  $T_{CP} \approx 4000 \div 4500$  K che rientrano nella classificazione psicologica di luce neutra.



#### 4. REQUISITI ILLUMINOTECNICI DELL'IMPIANTO: LA NORMA UNI 11280

La norma UNI 11248 fornisce le linee guida per determinare le condizioni di illuminazione in una data zona della strada, identificate e definite in modo esaustivo, nella UNI EN 13201-2, mediante l'indicazione di una categoria illuminotecnica.

La norma si basa, nei suoi principi fondamentali, sui contenuti scientifici del rapporto tecnico CIE 115 e recepisce i principi di valutazione dei requisiti illuminotecnici presenti nel rapporto tecnico CEN/TR 13201-1. A tal fine introduce il concetto di parametro di influenza e la richiesta di valutazione dei rischi da parte del progettista.

La norma UNI11248 individua le prestazioni illuminotecniche degli impianti di illuminazione atte a contribuire, per quanto di pertinenza, alla sicurezza degli utenti della strada ed in particolare:

- indica come classificare una zona esterna destinata al traffico, ai fini della determinazione della categoria illuminotecnica che le compete;
- fornisce la procedura per la selezione delle categorie illuminotecniche che competono alla zona classificata;
- identifica gli aspetti che condizionano l'illuminazione stradale e, attraverso la valutazione dei rischi, permette il conseguimento del risparmio energetico e la riduzione dell'impatto ambientale.

Essa si applica agli impianti di illuminazione fissi, progettati per offrire all'utilizzatore delle zone pubbliche, adibite alla circolazione, buone condizioni di visibilità durante i periodi di oscurità, con l'intento di garantire sia la sicurezza ed il buon smaltimento del traffico sia la sicurezza pubblica, per quanto questi parametri possano dipendere dalle condizioni di illuminazione della strada.

Per facilitare l'applicazione delle categorie illuminotecniche, viene suggerita una corrispondenza tra varie serie di categorie comparabili o alternative.

Le caratteristiche fotometriche di un impianto di illuminazione stradale sono definite mediante una o più categorie illuminotecniche, che dipendono da numerosi parametri, detti di influenza, come esplicitato nel seguito.

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

- la categoria illuminotecnica di riferimento, che 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 e specifica i requisiti illuminotecnici da considerare nel progetto dell'impianto;
- la categoria illuminotecnica di esercizio che specifica 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.

Nello specifico, per soddisfare i requisiti di sicurezza, nel progetto è prevista l'illuminazione notturna in superficie della sede tranviaria lungo tutto il tracciato della linea rossa: le caratteristiche dell'impianto di illuminazione e dei corpi illuminanti scelti, sono riportati nell'elaborato "Caratteristiche impianto, sezioni e dettagli B381-SF-ILM-ST001A".