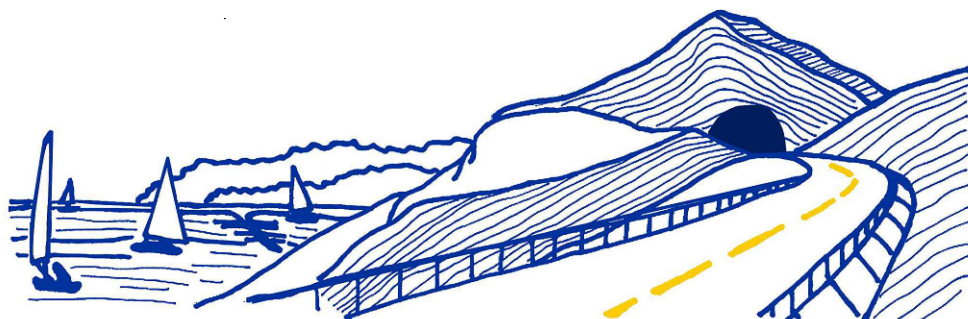


**VARIANTE ALLA S.S.1 AURELIA (AURELIA BIS)
VIABILITA' DI ACCESSO ALL' HUB PORTUALE DI LA SPEZIA
INTERCONNESSIONE TRA I CASELLI DELLA A-12 E IL PORTO DI LA SPEZIA
3° LOTTO TRA FELETTINO E IL RACCORDO AUTOSTRADALE**

PROGETTO ESECUTIVO DI STRALCIO E COMPLETAMENTO C - 3° TRATTO

PROGETTO ESECUTIVO

GE265



VISTO: IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

Ing. Fabrizio CARDONE

RESPONSABILE
DELL'INTEGRAZIONE DELLE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Alessandro RODINO

PROGETTISTA SPECIALISTA

Ing. Paolo Alberto COLETTI

IL COORDINATORE DELLA
SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE

Dott. Domenico TRIMBOLI

**IMPIANTI TECNOLOGICI
IMPIANTI ELETTRICI
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE**

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

DPGE0265 E 20

NOME FILE

P00IM00IMP05_B

CODICE ELAB. P00IM00IMP05

REVISIONE

B

SCALA:

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
C					
B	REVISIONE GENERALE	Ottobre 2021	M. Campetti	P. Pondera	D. Morgera
A	EMISSIONE	Marzo 2021	M. Campetti	P. Pondera	D. Morgera

INDICE	pag.
1. PREMESSA	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	1
3. GRANDEZZE ILLUMINOTECNICHE.....	1
4. REQUISITI PRESTAZIONALI	2
4.1 Categorie illuminotecniche	2
4.2 Individuazione delle categorie illuminotecniche	2
4.3 Definizione della categoria illuminotecnica di ingresso	3
4.4 Analisi dei rischi	4
4.5 Sintesi conclusiva.....	5
5. INTERSEZIONI A RASO E A LIVELLI SFALSATI.....	6
6. ILLUMINAZIONE DELLA GALLERIA	7
6.1 Luminanza della zona di entrata	8
6.2 Luminanza della zona di transizione.....	11
6.3 Luminanza della zona interna	12
6.4 Altri requisiti illuminotecnici.....	12
6.5 Cunicolo di emergenza galleria	14
7. RISPARMIO ENERGETICO	14
8. COMPATIBILITÀ AMBIENTALE	14
9. RISULTATI DEI CALCOLI ILLUMINOTECNICI.....	15
9.1 Risultati calcoli gallerie	15
9.2 Risultati calcoli cunicolo di emergenza in galleria	15
9.3 Risultati calcoli rampe di svincolo.....	15

1. Premessa

Il presente documento contiene le relazioni di calcolo per il dimensionamento degli impianti di illuminazione previsti a servizio delle gallerie Fornaci e Felettino e degli impianti a servizio delle aree di svincolo ubicate lungo l'asse stradale interessato. I calcoli illuminotecnici hanno lo scopo di verificare i requisiti illuminotecnici che corrispondono alle esigenze di comfort visivo e di prestazione visiva.

L'illuminazione stradale ha lo scopo di garantire la sicurezza nelle ore notturne per tutti gli utenti della strada; il compito visivo per i conducenti degli autoveicoli, che sono gli utenti principali della strada, è costituito dalla visibilità di ostacoli potenzialmente pericolosi, nelle condizioni ambientali e di traffico presenti ed in tempo utile per decidere e realizzare azioni correttive atte ad evitare incidenti.

Nel caso della galleria, l'impianto di illuminazione deve consentire un adeguato comfort visivo per gli utenti anche nelle ore diurne garantendo ai conducenti dei veicoli l'entrata, l'attraversamento e l'uscita dal tratto coperto a velocità almeno pari al limite di velocità locale, con un grado di sicurezza non inferiore a quello presente nei tratti di strada di cui fa parte la galleria, in condizioni adeguate di comfort visivo.

2. Normativa di riferimento

Leggi e decreti

DM 14 settembre 2005 Adozione della norma UNI 11095;

Norme italiane

- UNI 11095-2019 Illuminazione delle gallerie stradali;
- UNI 11248 2016 Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche;
- UNI 10819 Impianti di illuminazione esterna - Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso.

Norme europee

- UNI EN 13201 – parte 2 Illuminazione stradale – Requisiti prestazionali;
- UNI EN 12899 – parte 1 Segnaletica verticale permanente per il traffico stradale.

3. Grandezze illuminotecniche

- *Illuminamento*: Esprime l'entità della luce che investe una certa superficie. Si definisce illuminamento (E) il rapporto tra il flusso luminoso che incide su di una superficie e l'area dell'elemento presa in esame. L'unità di misura dell'illuminamento è il lux che dimensionalmente si esprime in lm/m^2
- *Luminanza*: Esprime l'entità della luce emessa da una sorgente di dimensioni estese (primaria o secondaria) nella direzione dell'osservatore. La luminanza delle corsie di traffico è funzione dell'illuminazione della superficie stradale, delle proprietà riflettenti della superficie stradale e della condizione geometriche d'osservazione. Descrive l'impressione di luminosità che danno sia le sorgenti luminose che le superfici, e dipende soprattutto dal loro indice di riflessione (colore e superficie).

- *Uniformità globale U0*: L'uniformità può essere riferita alle grandezze luminanza e luminosità e rappresenta il rapporto tra i valori minimi e quelli medi calcolati (o misurati) su tutto il dominio di calcolo (verifica). L'uniformità globale descrive generalmente la fluttuazione della grandezza illuminotecnica lungo una corsia di traffico ed è da considerare come misura dell'idoneità della superficie stradale per fare da sfondo a segnaletica stradale, oggetti e utenti stradali.
- *Uniformità longitudinale U1*: L'uniformità longitudinale (UI) è il rapporto tra la luminanza/illuminamento minima/o e quella massima/o in longitudine lungo la linea mediana di ogni corsia. Il punto dell'osservatore è in linea con i punti di calcolo. L'uniformità longitudinale rappresenta una misura per la percezione dei motivi ricorrenti di strisce chiare e scure sulla strada. Influisce le condizioni di visibilità di tratti stradali lunghi e ininterrotti.
- *Incremento di soglia TI*: L'incremento di soglia (TI) indica che l'illuminazione stradale, comunque migliorando le condizioni di visibilità, può portare al tempo stesso all'abbagliamento fisiologico, a seconda del tipo di lampada o apparecchio e delle loro caratteristiche geometriche.

4. Requisiti prestazionali

4.1 Categorie illuminotecniche

La norma UNI EN 13201-2:2016 stabilisce i requisiti prestazionali da rispettare nella progettazione e nell'esercizio delle strade a traffico motorizzato. I requisiti prestazionali sono espressi in forma di valori di illuminamento, di luminanza, di uniformità e di abbagliamento (debilitante).

La norma indica i requisiti anche per le intersezioni stradali quali incroci e rotonde e per i percorsi non direttamente interessati dal traffico motorizzato quali zone pedonali, marciapiedi o piste ciclabili. Le prestazioni illuminotecniche di ciascuna strada sono definite in funzione della classificazione effettuata per la strada stessa in ottemperanza alla norma UNI 11248. Quest'ultima 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. Si propone di:

- indicare come classificare una zona esterna destinata al traffico, ai fini della determinazione della categoria illuminotecnica che le compete;
- fornire la procedura per la selezione delle categorie illuminotecniche che competono alla zona classificata;
- identificare 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.

4.2 Individuazione delle categorie illuminotecniche

La procedura utilizzata dalla norma UNI 11248 per definire la categoria illuminotecnica si basa sulla "valutazione del rischio" ovvero di valutare ciascun tratto di strada in base alle caratteristiche specifiche per poi stabilire i valori illuminotecnici di riferimento. Le caratteristiche specifiche sono individuate dalla norma con il termine "parametri di influenza" e sono ad esempio, il flusso di traffico, complessità del compito visivo, l'eventuale zona di

conflitto, dispositivi rallentatori, necessità rilevate in seguito a sopralluoghi. La norma ha quindi definito per ogni tipo di strada (autostrade, strade, piste ciclabili, ecc.) una categoria illuminotecnica di riferimento, in totale sintonia con quanto riportato sulla vecchia edizione. Sulla base delle zone di conflitto e dei parametri di influenza considerati si modifica la categoria illuminotecnica di riferimento, che può comportare una variazione di categoria in più o in meno. Tenuto conto delle indicazioni di cui sopra il progetto illuminotecnico deve procedere come segue:

1. Definizione della categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi suddividendo la strada in una o più zone di studio con condizioni omogenee dei parametri di influenza; identificare quindi il tipo della strada per ogni zona di studio ed individuare la categoria Illuminotecnica di Ingresso per l'analisi dei rischi.
2. Definizione della categoria illuminotecnica di progetto, a partire dalla categoria illuminotecnica di ingresso, valutando i parametri di influenza e considerando anche gli aspetti del contenimento dei consumi energetici; eventualmente l'analisi con le valutazioni proprie del progettista con l'introduzione di nuovi parametri di Influenza.
3. Definizione delle categorie Illuminotecniche di esercizio in base alle risultanze dell'analisi dei rischi e agli aspetti relativi al contenimento dei consumi energetici di cui ai punti precedenti.

A seguito dell'analisi dei rischi, dovrà essere prestata particolare attenzione affinché tra zone adiacenti sia evitata una differenza maggiore di due categorie illuminotecniche "comparabili". Nel caso di zone adiacenti che risultino con una differenza superiore a due categorie, la categoria di riferimento inferiore deve essere aumentata a quella di livello luminoso più elevato in modo da rispettare la differenza massima di due categorie illuminotecniche. Per le zone di conflitto la norma raccomanda inoltre un livello luminoso maggiore del 50% rispetto alle zone adiacenti.

4.3 Definizione della categoria illuminotecnica di ingresso

La classificazione illuminotecnica in ambito stradale ha come fine ultimo la definizione dei valori progettuali di luminanza che devono rispettare i progetti illuminotecnici definiti nel prospetto 1 della UNI EN 13201-2:2016.

Il prospetto che segue riporta la classificazione delle strade così come riportata sull'aggiornamento della UNI 11248 ed individua le categorie illuminotecniche di ingresso per l'analisi dei rischi.

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km/h]	Categoria illuminotecnica di ingresso UNI 11248
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 extraurbane principali	70-90	M3
C	Strade extraurbane secondarie (C1 e C2) ⁽¹⁾	70-90	M2
	Strade extraurbane secondarie	50	M3

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km/h]	Categoria illuminotecnica di ingresso UNI 11248
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70-90	M2
D	Strade urbane di scorrimento ⁽²⁾	70	M2
		50	
E	Strade urbane di quartiere	50	M3
F ⁽³⁾	Strade locali extraurbane (F1 e F2) ⁽¹⁾	70-90	M2
	Strade locali extraurbane	50	M4
		30	C4/P2
	Strade locali urbane	50	M4
	Strade locali urbane: centri storici, isole, zone 30	30	C3/P1
	Strade loc. urbane: altre situazioni	30	C4/P2
	Strade loc. urbane: aree pedonali	5	
Strade locali interzonali	50	M3	
	30	C4/P2	
Fbis	Itinerari ciclo-pedonali ⁽⁴⁾	n.d.	P2
	Strade a destinazione particolare ⁽¹⁾	30	
1. Secondo Il Decreto ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" del Ministero delle Infrastrutture e del Trasporti e successive Integrazioni e modifiche. 2. Per strade di servizio delle strade urbane di scorrimento, definita la categoria illuminotecnica per la strada principale, si applica la categoria illuminotecnica con prestazione di luminanza immediatamente inferiore o la categoria comparabile a questa. 3. Vedere le osservazioni del punto 6.3. della UNI 11248. 4. Secondo la Legge 1 agosto 2003 numero 214 'Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 27 giugno 2003, n 151, recante modifiche ed integrazioni al codice della strada".			

4.4 Analisi dei rischi

Si riportano alcuni passi ripresi dalla Norma UNI 11248-2016 circa la metodologia per l'effettuazione dell'analisi dei rischi.

Il progettista deve:

- 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 su peso dei singoli parametri;
- Limitare l'influenza di ogni parametro alla variazione massima di una categoria illuminotecnica come esemplificato nel prospetto 2, salvo per flussi di traffico minori del 25% rispetto alla portata di servizio;
- Limitare le scelte tra le categorie illuminotecniche definite nella 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 in appendice D.

La categoria illuminotecnica di progetto deve essere valutata per la portata di servizio massima della strada, indipendentemente dal flusso orario di traffico effettivamente presente e

considerando i parametri del prospetto 2.

Per i casi normali è sufficiente che il progettista basi l'analisi dei rischi sulla conoscenza dei parametri di Influenza generalmente più significativi che possono essere individuati tra quelli del prospetto che segue (prospetto 2 estratto UNI 11248). La variazione della categoria illuminotecnica Indicata nel prospetto è indicata come decremento da apportare al numero che appare nella sigla della categoria di ingresso per l'analisi dei rischi, ottenendo categorie con requisiti prestazionali inferiori. Nei prospetti della UNI 11248 si introducono diversi parametri utili per ridurre o incrementare la classificazione del territorio ai fini del risparmio energetico, e in particolare applicabili a seconda dell'ambito specifico. I valori sono inseriti esclusivamente a titolo indicativo e possono anche essere diminuiti dal progettista in quanto, se le condizioni lo permettono, è necessario favorire il risparmio energetico.

Prospetto 2:

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
Assenza di pericolo di aggressione	1
Segnaletica stradale attiva	1

Prospetto 3:

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Flusso orario <50% rispetto alla portata di servizio	1
Flusso orario <25% rispetto alla portata di servizio	2
Riduzione della complessità nella tipologia di traffico	1

Nel caso di traffico motorizzato, per valutare la riduzione massima della categoria Illuminotecnica, il progettista deve ricordare che la luminanza media è correlata al livello di luminanza generale che consente la visibilità al conducente. Al basso livello di illuminazione utilizzato per l'Illuminazione stradale, la prestazione migliora con l'aumento della luminanza. In termini di incremento della sensibilità al contrasto, incremento della acuità visiva e riduzione dell'abbagliamento.

Con apparecchi che emettono luce con Indice di resa dei colori maggiore o uguale a 60, previa verifica, nell'analisi dei rischi delle condizioni di visione, il progettista può apportare la riduzione massima di una categoria Illuminotecnica.

4.5 Sintesi conclusiva

La sintesi conclusiva individua la categoria illuminotecnica 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.

Pertanto, Il documento di sintesi stabilisce I livelli di intervento necessari alla messa in sicurezza della zona di studio. In base all'importanza delle considerazioni emerse nella fase di analisi.

L'asse viario oggetto della presente relazione si identifica come strade di servizio alle autostrade e pertanto ai fini della definizione della categoria illuminotecnica di riferimento si classifica come: M2.

Nel prospetto che segue si riportano le prescrizioni illuminotecniche di cui alla UNI EN 13201-2:2016 (prospetto 1 estratto norma) per le categorie sopra definite.

Categoria	Luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto stradale asciutto e bagnato			Abbagliamento debilitante	Illuminazione di contiguità	
	Asciutto		Bagnato			Asciutto
	L [min. mantenuta] $cd \times m^{-2}$	U0 (1) [minima]	UI (2) [minima]	U _{ow} [minima]	f _{TI} [massima] %	R _{EI} [minima]
M1	2.0	0,4	0,7	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	0,3
M4	1.0	0,4	0,6	0,15	15	0,3
M5	1.0	0,35	0,4	0,15	15	0,3
M6	0.75	0,35	0,4	0,15	20	0,3

5. Intersezioni a raso e a livelli sfalsati

Quando lo studio illuminotecnico si riferisce ad aree a traffico motorizzato in cui non è possibile ricorrere al calcolo della luminanza (le distanze di osservazione sono minori di 60 m e quando sono significative posizioni diverse dell'osservatore), come ad esempio zone di conflitto, incroci, strade commerciali e rotonde, le classi M sono sostituite dalle C. Le categorie illuminotecniche di livello luminoso comparabile sono riportate nel prospetto che segue (prospetto 6 estratto Norma UNI 11248:2016).

Categoria illuminotecnica						
Condizione	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Se $Q_0 \leq 0.05 \text{ sr}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Se $0.05 \text{ sr}^{-1} \leq Q_0 \leq 0.08 \text{ sr}^{-1}$	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Se $Q_0 \geq 0.08 \text{ sr}^{-1}$	C2	C3	C4	C5	C5	C5
			P1	P2	P3	P4

L'applicazione dei requisiti di cui alle serie C non può esimere dall'applicazione dei requisiti sull'abbagliamento debilitante per cui vale (prospetto 5 estratto dalla UNI 11248):

Ai fini illuminotecnici, in ottemperanza alla UNI 11248, si possono definire per l'ambito di intervento le due intersezioni di riferimento:

- a raso a rotatoria;
- a livelli sfalsati (rampa/svincolo) per le rampe di accesso/uscita alla/dalla viabilità principale.

Per le intersezioni in generale, a raso e a livelli sfalsati, la categoria illuminotecnica selezionata dovrebbe essere maggiore di un livello luminoso rispetto alla maggiore tra quelle selezionate per le strade di accesso. Anche nel caso delle rotatorie la norma prescrive l'applicazione di categorie illuminotecniche della serie C, adottando come categoria illuminotecnica di riferimento, quella maggiore tra quelle previste per le strade di accesso, incrementata di un livello.

Ne risulta pertanto, per tutta le intersezioni di accesso/uscita dalla viabilità principale, l'applicazione della categoria illuminotecnica C2.

Le prescrizioni illuminotecniche per le classi C sono riportate nel prospetto che segue (prospetto 2 estratto norma UNI EN 13201-2).

Illuminamento orizzontale		
Categoria	Em in lx (minimo mantenuto)	U0 min
C0	50	0.4
C1	30	0.4
C2	20	0.4
C3	15	0.4
C4	10	0.4
C5	7.5	0.4

Le condizioni di progetto mantengono precauzionalmente i parametri illuminotecniche normativi di seguito riassunti:

RIEPILOGO DATI ILLUMINOTECNICI DI PROGETTO	
<i>Sede stradale autostradale (tratti di raccordo con la viabilità immissione/diversione)</i>	
Descrizione	Dati di progetto
Categoria illuminotecnica della strada	M2
Categoria illuminotecnica di progetto	M2
luminanza media mantenuta (Lm)	≥ 1.5
$U0 = L_{min}/L_{med}$ (rapporto fra luminanza min e media su tutta la strada)	≥ 0.4
$U1 = L_{min}/L_{max}$ (rapporto fra luminanza min e max lungo la mezziera di ciascuna corsia)	≥ 0.7
TI (indice dell'abbagliamento debilitante)	≤ 10
<i>Sede stradale intersezioni con viabilità ordinaria</i>	
Descrizione	Dati di progetto
Categoria illuminotecnica di progetto	C2
$U0 = L_{min}/L_{med}$ (rapporto fra luminanza min e media su tutta la strada)	$\geq 0,4$

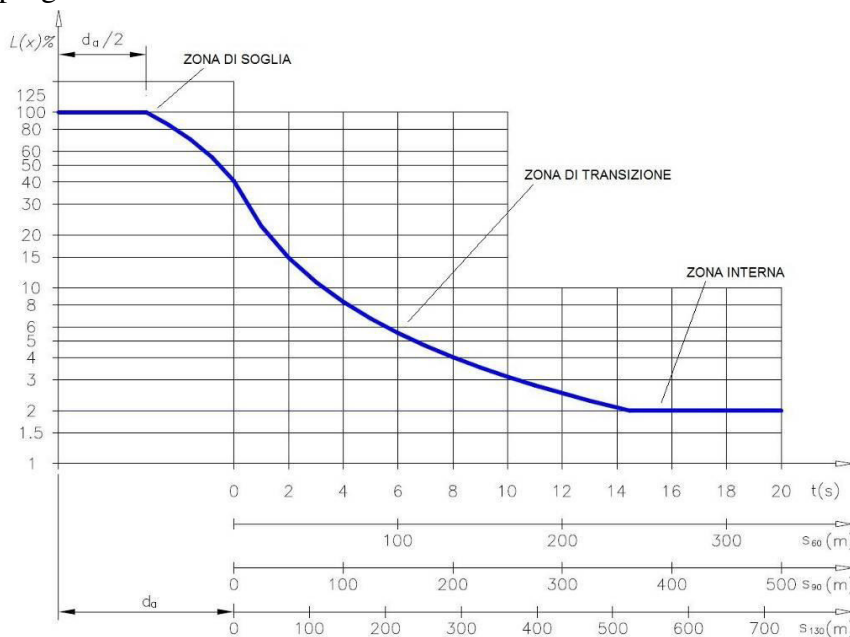
6. Illuminazione della galleria

L'illuminazione della galleria è regolata dalla norma UNI 11095 - 2021 - Illuminazione delle gallerie stradali.

Questa specifica i requisiti illuminotecnici dell'impianto di illuminazione di una galleria stradale, al fine di assicurare al conducente di un veicolo, sia di giorno sia di notte, l'entrata, l'attraversamento e l'uscita dal tratto coperto a velocità pari alla velocità massima legalmente consentita per quel tratto di strada, ed in condizioni adeguate di comfort visivo, con un grado di sicurezza non inferiore a quello della strada di cui fa parte la galleria.

La Norma UNI 11095-2021 divide, inoltre, la sezione longitudinale della galleria e dello spazio di entrata che la precede in cinque zone caratterizzate da differenti requisiti di luminanza che devono essere forniti dall'impianto di illuminazione.

- *Zona di accesso* - È costituita dal tratto di strada all'aperto, immediatamente precedente la sezione di entrata della galleria, di lunghezza l , pari alla distanza di progetto illuminotecnico.
- *Zona di entrata* - Tratto interno alla galleria, a partire dalla sezione di entrata, lungo il quale le condizioni di illuminazione devono garantire la percezione da parte del conducente dell'oggetto di riferimento dalla distanza di progetto illuminotecnico, considerando le condizioni di abbagliamento dovute all'illuminazione diurna esterna alla galleria.
- *Zona di transizione* - È il tratto di tunnel che segue quello di entrata, in cui i livelli di luminanza devono essere gradualmente ridotti per consentire l'adattamento dell'occhio ai livelli di luminanza della zona interna della galleria.
- *Zona interna* - Nel tratto interno del tunnel i livelli di luminanza sono normalmente mantenuti ad un valore costante. L'occhio del guidatore è ormai adattato a bassi valori di luce.
- *Zona di uscita* - È la zona terminale del tunnel che porta all'uscita. In questa zona solitamente la visibilità non è critica in quanto gli eventuali ostacoli sono individuati come corpi scuri su fondo chiaro. L'eventuale incremento della luminanza in questa zona può migliorare il comfort per gallerie a senso unico di marcia con sorpasso consentito e nel caso in cui la galleria venga occasionalmente utilizzata nel senso di marcia opposto. In ogni caso, secondo la norma UNI 11095, l'illuminazione di rinforzo nella zona di uscita non risulta un vincolo progettuale.



6.1 Luminanza della zona di entrata

In accordo con la norma di riferimento UNI 11095-2019, la condizione di visibilità dell'ostacolo di riferimento, che casualmente si trovi sulla carreggiata nella prima metà della

zona di entrata quando l'osservatore è ancora all'esterno del manufatto, ad una distanza dall'ostacolo stesso pari alla distanza di visibilità per l'arresto d_v , si ritiene soddisfatta se, in qualunque momento della giornata e in ogni sezione del suddetto tratto di carreggiata, la luminanza media trasversale L_{tc} , valutata con l'osservatore nella posizione più sfavorevole della carreggiata, è maggiore o uguale alla luminanza di entrata L_{tr} . La luminanza di entrata è data dalla formula:

$$L = cL_v(x - dp, max) \text{ per } 0 < x < dp_{max}$$

dove:

- $L_v(x - dp_{max})$ è la luminanza debilitante (curva caratteristica della galleria) valutata per la data sezione trasversale della zona di accesso alla coordinata longitudinale $x - dp_{max}$ in candele al metro quadrato;
- c è un fattore dipendente dal tipo di impianto ($c = 0.23$ per impianto controflusso, $c = 0.25$ per impianto simmetrico, $c = 0.32$ per impianto proflusso);
- x è la coordinata longitudinale x , in metri;
- dp, max è il valore massimo della distanza di progetto illuminotecnico, in metri.

Il valore di L_v deve essere tale che per l'intero corso dell'anno possa comunque soddisfare le condizioni della formula sopra riportata. Si ritiene che L_v , sia da considerarsi soddisfacente ai fini della sicurezza per gli utenti che entrano in galleria, anche con i massimi livelli di luminosità esterna che possono manifestarsi nel corso dell'anno. Con L_v si intende Valore massimo della luminanza di velo che si presenta nel corso di un anno, con l'esclusione di quelle punte più elevate che complessivamente coprono una durata massima di 75 h all'anno. Il valore della luminanza di velo è calcolabile attraverso la somma di quattro termini secondo la:

$$L_v = L_{seq} + L_{atm} + L_{par} + L_{cru}$$

dove:

- L_{seq} è la luminanza di velo equivalente;
- L_{atm} è la luminanza atmosferica;
- L_{par} è la luminanza del parabrezza;
- L_{cru} è la luminanza del cruscotto.

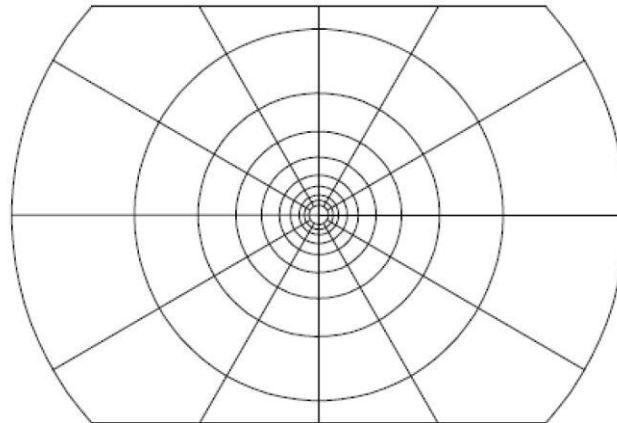
I valori di L_{seq} e di L_{atm} mentre possono essere determinati con misurazioni dirette effettuate dalla distanza di visibilità per l'arresto, prima della sezione di entrata. Nel caso in cui le misurazioni non siano eseguibili, come per esempio per le gallerie in fase di prima progettazione, si ricorre alla formulazione analitica riportata al paragrafo che segue.

I valori di L_{par} ed L_{cru} sono valori imposti dalla norma e valgono rispettivamente:

$$L_{par} + L_{cru} = 0,4 L_{seq}$$

Calcolo di L_{seq}

Per agevolare il calcolo di L_{seq} si ricorre normalmente al diagramma polare della figura che segue, costituito da 9 anelli concentrici suddivisi in 12 settori, angularmente uguali e pari a 30° , ma di altezza tale che l'area di ciascun settore, produca la stessa luminanza di velo equivalente qualora soggetto ad una luminanza costante.



Al diagramma viene sovrapposta la fotografia dell'entrata in modo che il punto della fotografia posto sull'asse di mezzeria della galleria ad una quota di 1,5 m dal piano stradale coincida con il centro del diagramma. La scala del diagramma viene adattata alla distanza di visibilità per l'arresto ed alle dimensioni della fotografia. Le luminanze medie (misurate o stimate) delle superfici emittenti che interessano ciascuno dei 108 settori, di cui è costituito il diagramma, hanno lo stesso peso sulla L_{seq} che può quindi essere calcolata con la formula:

$$L_{seq} = 0,51 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{12} L_{ij} K_{ij}$$

Dove:

- $K_{ij} = 0,78$ se $i=9$ e $j=2,5,8,11$
- $K_{ij} = 0,22$ se $i=9$ e $j=1,6,7,12$
- $K_{ij}=1$ negli altri casi
- $L_{i,j}$ è la luminanza della superficie emittente dell' i -esimo anello e del j -esimo settore del diagramma polare. I valori convenzionali delle luminanze da considerare nella stima di L_{seq} sono riportati nel prospetto che segue (estratto dalla norma) – dove (V) indica un paesaggio montagnoso con superfici prevalentemente ripide, rivolte verso il conducente e (H) un paesaggio pianeggiante, più o meno orizzontale.

Direzione di marcia	Cielo	Strada	Rocce	Edifici	Neve	Prati
Verso Nord	8	3	3	8		2
Est-Ovest	12	4	2	6	10 (V) 15 (H)	2
Verso Sud	16	5	1	4	5 (V) 15 (H)	2

(V) passaggio montagnoso con superfici prevalentemente ripide, rivolte verso il conducente.
 (H) passaggio pianeggiante, più o meno orizzontale.

Calcolo di L_{atm}

La luminanza L_{atm} dello strato di atmosfera compreso tra l'occhio dell'osservatore alla distanza di arresto e la sezione d'ingresso in galleria è dovuta alla diffusione atmosferica del flusso luminoso proveniente dal sole e dalle superfici emittenti che costituiscono i dintorni dell'imbocco. Il suo valore è determinato dalla formula che segue (di Padmos ed Alferdinck):

$$L_{atm} = 1.3 \frac{d_a \cdot E_h}{\pi \cdot V_m}$$

dove:

- E_h è l'illuminamento orizzontale in lux;
- d_a è la distanza di arresto in m;
- V_m è la distanza di visibilità meteorologica [m], ossia la distanza a cui a causa della luminanza dell'atmosfera un oggetto nero osservato sullo sfondo del cielo all'orizzonte presenta un contrasto pari a 0.05.

I dati relativi ad E_h e V_m possono essere sia misurati in loco, sia reperiti nelle pubblicazioni specialistiche, sia ancora stimati in base ai dati convenzionali riportati nei prospetti che seguono (estratto dalla norma).

Latitudine locale	Illuminamento orizzontale [klx]
36° N	64
38° N	62
40° N	60
42° N	58
44° N	57
46° N	55

Tipo di galleria	Distanza di visibilità Meteorologica [km]
Gallerie e sottopassi urbani	8
Gallerie extraurbane a livello del mare	9
Gallerie extraurbane a quota ≤ 500 m	10
Gallerie extraurbane a quota > 500 m	15

6.2 Luminanza della zona di transizione

La luminanza media della pavimentazione stradale nella zona di transizione deve decrescere in modo da risultare in ogni sezione non minore del valore L_t ottenibile dalla formula:

$$L_t = \frac{L_e}{\left(1.9 + \frac{x}{v}\right)^{1.4}}$$

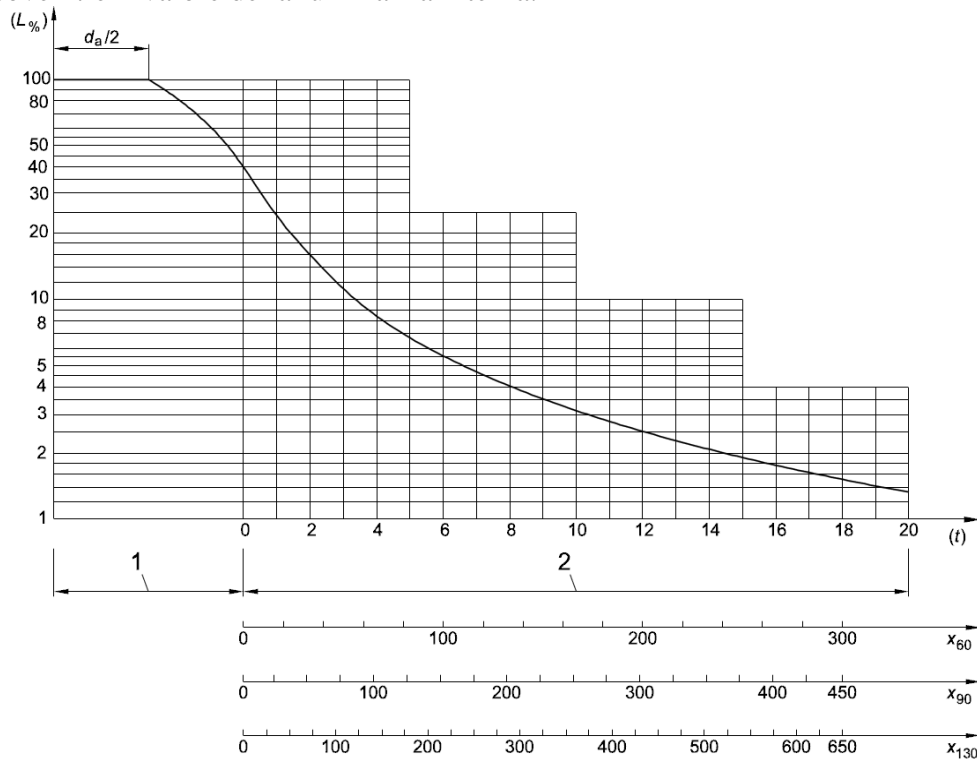
dove:

- L_e è la luminanza di entrata per $L_v = L_v75$
- x è la distanza lungo la galleria misurata dall'inizio della zona di transizione, in metri;
- v è il limite di velocità della strada per il tratto interessato, in metri al secondo.

La lunghezza del tratto di transizione x_t è determinata dalla condizione che esso termini quando la luminanza ha raggiunto il valore della luminanza interna L_i , vale a dire:

$$x_t = v \cdot \left[\left(\frac{L_e}{L_i} \right)^{\frac{5}{7}} - 1.9 \right]$$

dove L_i è il valore della luminanza interna.



6.3 Luminanza della zona interna

La luminanza media mantenuta della zona interna L_i per gallerie a senso unico di marcia deve essere:

$$L_i \geq 1,5 \cdot L$$

e per le gallerie a doppio senso di marcia:

$$L_i \geq 2 \cdot L$$

dove L è il valore minimo della luminanza indicato nella UNI EN 13201-2 per la categoria illuminotecnica di esercizio della strada di accesso alla galleria, indipendentemente dal fatto che la strada di accesso sia o non sia illuminata.

Se la strada di accesso è illuminata con una luminanza media L_m maggiore di quella prevista dalla UNI EN 13201-2, la luminanza media nella zona interna L_i deve essere pari rispettivamente a $1,5L_m$ o a $2L_m$ secondo che si tratti di gallerie a senso unico di marcia o a doppio senso di marcia.

Nello specifico essendo la categoria illuminotecnica di progetto della viabilità esterna alle gallerie pari ad M2 corrispondente al valore di luminanza pari a 1.5 cd/m^2 , ne risulta che per le gallerie di progetto a doppio senso, si applica la formula $L_i \geq 2 \cdot L$. Segue pertanto che la luminanza interna delle gallerie deve essere $\geq 3 \text{ cd/m}^2$. Tale valore dovrà essere garantito dall'impianto di illuminazione permanente distribuito su entrambe le file in dx e sx.

6.4 Altri requisiti illuminotecnici

L'impianto di illuminazione della galleria deve garantire, oltre a quanto sopra descritto, anche il rispetto dei seguenti requisiti illuminotecnici.

Uniformità di luminanza - In tutte le zone della galleria, sia di giorno sia di notte e per ogni

stato di parzializzazione dell'illuminazione, l'uniformità generale U_0 , l'uniformità longitudinale U_l e l'uniformità trasversale di luminanza U_t devono essere:

- per le gallerie a senso unico di marcia:

Zona	Condizione	Uniformità				Uniformità trasversale	
		Generale		Longitudinale		Generale	
		U_{ocr}	U_{opr}	U_{lcr}	U_{lpr}	U_{otcr}	U_{otpr}
Entrata	Diurna Notturna	0,5	0,4	0,7	0,6	0,5	0,4
Transizione	Diurna Notturna	0,5	0,4	0,7	0,6	0,5	0,4
Interna		0,5	0,4	0,7	0,6		
Uscita	Variabile fissa	0,5	0,4	0,7	0,6	0,5	0,4

- per le gallerie a doppio senso di marcia:

Zona	Condizione	Uniformità					Uniformità trasversale	
		Generale		Longitudinale			Generale	
		U_{ocimr}	U_{opr}	U_{lcr}	U_{lpr}	U_{otcmr}	U_{otcr}	U_{otpr}
Entrata	Diurna Notturna	0,5	0,4	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
Transizione	Diurna Notturna	0,5	0,4	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
Interna		0,5	0,4	0,7	0,6			
Uscita	Variabile fissa	0,5	0,4	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4

Luminanza delle pareti - In qualsiasi zona della galleria, sia per l'illuminazione diurna sia per quella notturna, la luminanza media delle pareti L_p per un'altezza almeno pari a 2 m sopra la carreggiata non deve essere minore del 60% della luminanza media della carreggiata (o della corsia più vicina per le gallerie a doppio senso di marcia con limitazione dell'illuminazione di rinforzo).

Corsie di emergenza, corsie riservate, marciapiedi, banchine, ecc. - Le superfici della strada non facenti parte della carreggiata che fiancheggiano le corsie di marcia e che comunque possono fare da sfondo alla visibilità dell'ostacolo di riferimento, qualora siano formate da bande di larghezza o di altezza maggiore di 1 m, devono essere illuminate a valori di luminanza non minori del 60% del valore di carreggiata, con uniformità generali e longitudinali minime come sopra.

Se la larghezza complessiva di queste superfici, computata separatamente per i due lati della strada, supera i 5 m, la parete pertinente non è più soggetta alle prescrizioni di livello e di uniformità della presente norma.

Limitazione dell'abbagliamento - L'incremento di soglia TI non deve superare:

- 10% nelle zone a luminanza costante;
- 20% nelle zone a luminanza variabile con impianti simmetrici o a controflusso;
- 8 % nelle zone a luminanza variabile con impianti proflusso.

Illuminazione di riserva - In caso di guasto alla rete di alimentazione, nelle gallerie con

lunghezza maggiore di 500 m e con limite di velocità maggiore di 70 km/h, l'impianto deve garantire un livello minimo di luminanza di 1 cd/m² sull'intera galleria e per un tempo minimo di 30 min. I requisiti di uniformità non possono essere soddisfatti. In tutte le gallerie per le quali è richiesta l'illuminazione di riserva, l'attivazione dell'illuminazione di riserva deve essere segnalata agli utenti per il tramite dell'indicazione "Galleria non illuminata".

L'indicazione deve essere visibile dalla distanza di progetto illuminotecnico.

6.5 Cunicolo di emergenza galleria

Tra le gallerie di progetto la galleria denominata "Fornace" è dotata di cunicolo di emergenza con accesso dalle vie di fuga della galleria. Il cunicolo porta in luogo sicuro all'aperto gli utenti in evacuazione dalla galleria in caso di emergenza. Il riferimento normativo è la UNI EN 1838 illuminazione di emergenza i parametri considerati a progetto sono i seguenti $E_{min}=5\text{lux}$ con la condizione di uniformità che $E_{max} < 40 E_{min}$ e che l'interdistanza fra due punti luce consecutivi sia $< 4h$ con h altezza del cunicolo.

7. Risparmio energetico

L'impianto d'illuminazione dovrebbe soddisfare i requisiti di illuminazione relativi ad uno spazio particolare senza comportare sprechi di energia; il tutto senza compromettere gli aspetti visivi. Sarà quindi dotato di apparecchiature e dispositivi di controllo appropriati per lo spegnimento delle lampade o la riduzione del flusso luminoso durante le ore diurne o ove sia necessaria una riduzione delle prestazioni illuminotecniche. Nelle gallerie a doppio senso di marcia il limite del risparmio energetico non deve essere considerato nelle corsie di senso di marcia inverso.

8. Compatibilità ambientale

La compatibilità ambientale presenta due aspetti:

- *Luce molesta* - L'impianto di illuminazione della corsia della rotatoria e delle corsie di marcia è conforme alla norma CIE S 15 - CEN 12464-2 [6] per la limitazione della luce molesta in modo da non arrecare disturbo ad alcune abitazioni a valle. Allo scopo gli apparecchi di illuminazione, collocati all'esterno della corsia, emettono luce verso l'interno strada.
- *Luce verso l'alto* - L'impianto di illuminazione è conforme alle prescrizioni della zona 2 della norma UNI 10819. Inoltre, i livelli di illuminazione di progetto sono stati mantenuti ai limiti dei valori di sicurezza di cui alla norma UNI 11248 entro le tolleranze di installazione previste in detta norma. Si tratta di provvedimenti che minimizzano le riflessioni del suolo verso l'alto riducendo la luminanza artificiale del cielo. In conclusione, l'impianto di illuminazione non arreca alcun indebito disturbo all'osservazione astronomica

9. Risultati dei calcoli illuminotecnici

9.1 Risultati calcoli gallerie

I risultati completi dei calcoli illuminotecnici delle gallerie Fornaci e Felettino sono riportati in allegato alla presente relazione.

I calcoli si sviluppano in una prima parte in cui vengono individuati i parametri di ingresso dipendenti dall'ubicazione dell'imbocco. Con i criteri descritti nel presente documento si realizzano dapprima i diagrammi di Adrian degli imbocchi e successivamente si determinano le curve di luminanza. Seguono i tabulati di calcolo illuminotecnico che nel rispetto della curva di luminanza calcolata, forniscono i proiettori con fotometria e flusso adeguati a generare valori di luminanza che siano per tutta la galleria sempre superiori alla curva di luminanza di progetto.

9.2 Risultati calcoli cunicolo di emergenza in galleria

Il cunicolo di emergenza ubicato sotto la galleria che porta gli utenti nei luoghi sicuri in esterno è stato illuminato con apparecchi del tipo lineare a Led su circuito privilegiato. Seguono i risultati di calcolo secondo i parametri sopra descritti.

9.3 Risultati calcoli rampe di svincolo

Si allegano i risultati di calcolo per la categoria M2 relativa alle rampe autostradali in progetto con la verifica dei parametri normativi richiesti.