

Luce e illuminazione

Illuminazione delle gallerie stradali

Light and lighting

Road tunnel lighting

ORGANO
COMPETENTE Luce e illuminazione

CO-AUTORE

SOMMARIO La norma 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 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.

Questo testo **NON** è una norma UNI, ma è un progetto di norma sottoposto alla fase di inchiesta pubblica, da utilizzare solo ed esclusivamente per fini informativi e per la formulazione di commenti. Il processo di elaborazione delle norme UNI prevede che i progetti vengano sottoposti all'inchiesta pubblica per raccogliere i commenti degli operatori: la norma UNI definitiva potrebbe quindi presentare differenze -anche sostanziali- rispetto al documento messo in inchiesta.

Questo documento perde qualsiasi valore al termine dell'inchiesta pubblica, cioè il:12-11-10

UNI non è responsabile delle conseguenze che possono derivare dall'uso improprio del testo dei progetti in inchiesta pubblica.

RELAZIONI
NAZIONALI

La presente norma sostituisce la UNI 11095:2003.

RELAZIONI
INTERN.LI

PREMESSA

Rispetto all'edizione precedente sono state apportate le principali modifiche riportate in appendice F. La presente norma è stata elaborata sotto la competenza della Commissione Tecnica UNI@ Luce e illuminazione@

@

La Commissione Centrale Tecnica dell'UNI ha dato la sua approvazione il giorno mese anno.

VARIANTI
NAZIONALI

INTRODUZIONE

La presente norma deriva dalla pubblicazione CIE 88:2004, della quale adotta i criteri di base relativi al traffico motorizzato e cioè:

- correlare nell'intero percorso in galleria la sicurezza degli utenti della strada alla visibilità di un ostacolo di riferimento in tempo utile per l'arresto dell'autoveicolo;
- adottare nella zona di entrata della galleria condizioni di illuminazione tali da compensare la diminuzione del contrasto dell'oggetto causato dalla luminanza di velo che si genera sulla retina a seguito della luminanza dell'ambiente circostante l'entrata della galleria;
- prescrivere una diminuzione della luminanza in funzione del tempo di percorrenza tale da assicurare l'adattamento visivo fino alla minore luminanza presente nella zona interna della galleria.

Inoltre, la presente norma correla la luminanza della zona interna a quella prevista dalla UNI 11248 per la strada di accesso alla galleria.

Nell'appendice F sono riportate le principali modifiche tra la presente norma e la versione precedente (UNI 11095:2003).

1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente norma 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 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.

Tali requisiti si intendono in grado di garantire la sicurezza del traffico anche nel caso di traffico parzialmente motorizzato.

I requisiti sono espressi in termini di livello ed uniformità di luminanza della carreggiata, delle pareti e di eventuali altre superfici che costituiscono la galleria. Sono inoltre considerate altre caratteristiche di qualità dell'impianto quali la limitazione dell'abbagliamento, il risparmio energetico e l'illuminazione in caso di emergenza.

La norma fornisce metodologie relative alla progettazione, alle condizioni di calcolo ed ai criteri di verifica delle prestazioni illuminotecniche. Inoltre, esplicita requisiti minimi per la definizione delle modalità di manutenzione dell'impianto stesso.

Se non diversamente indicato, i valori illuminotecnici prescritti dalla presente norma sono da intendersi come valori mantenuti.

La presente norma si applica agli impianti di illuminazione di gallerie stradali, autostradali ed urbane con traffico sia esclusivamente sia parzialmente motorizzato, indipendentemente dalla loro lunghezza.

La presente norma non fornisce prescrizioni per l'illuminazione di evacuazione in caso di incendio.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La presente norma rimanda, mediante riferimenti datati e non, a disposizioni contenute in altre pubblicazioni. Tali riferimenti normativi sono citati nei punti appropriati del testo e sono di seguito elencati. Per quanto riguarda i riferimenti datati, successive modifiche o revisioni apportate a dette pubblicazioni valgono unicamente se introdotte nella presente norma come aggiornamento o revisione. Per i riferimenti non datati vale l'ultima edizione della pubblicazione alla quale si fa riferimento (compresi gli aggiornamenti).

UNI 11142	Luce e illuminazione - Fotometri portatili - Caratteristiche prestazionali
UNI 11248	Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche
UNI 11356	Luce e illuminazione - Caratterizzazione fotometrica degli apparecchi di illuminazione a LED
UNI EN 12665	Luce e illuminazione - Termini fondamentali e criteri per i requisiti illuminotecnici
UNI EN 13032-1	Luce e illuminazione - Misurazione e presentazione dei dati fotometrici di lampade e apparecchi di illuminazione - Parte 1: Misurazione e formato di file
UNI EN 13201-2	Illuminazione stradale - Parte 2: Requisiti prestazionali
UNI EN 13201-3	Illuminazione stradale - Parte 3: Calcolo delle prestazioni
UNI EN 13201-4	Illuminazione stradale - Parte 4: Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche
UNI EN ISO 14253-1	Specifiche geometriche dei prodotti (GPS) - Verifica mediante misurazione dei pezzi e delle apparecchiature per misurazioni - Regole decisionali per provare la conformità o non conformità rispetto alle specifiche
UNI CEI EN ISO/IEC 17025	Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura
Pubblicazione CIE 88:2004	Guide for the lighting of road tunnels and underpasses
Pubblicazione CIE 154:2003	Maintenance of outdoor lighting systems

3 TERMINI E DEFINIZIONI

Ai fini della presente norma, si applicano i termini e le definizioni di cui alla UNI EN 12665 e i termini e le definizioni seguenti.

3.1 galleria: Infrastruttura stradale formata da superfici strutturali, totalmente coperta o confinata, destinata al traffico veicolare.

Nota - In questa definizione rientrano anche i sottopassi e le gallerie con graticci. Il termine 'confinata' indica gallerie o sottopassi con finestrate.

3.2 Tipi di gallerie

3.2.1 galleria lunga: Ai fini illuminotecnici, galleria di lunghezza maggiore di 125 m tra la sezione di entrata e la sezione di uscita.

3.2.2 galleria corta: Ai fini illuminotecnici, galleria di lunghezza minore o uguale a 125 m tra la sezione di entrata e la sezione di uscita.

3.3 Velocità di percorrenza

3.3.1 velocità di progetto illuminotecnico [in m/s]: Velocità adottata per il calcolo della distanza di visibilità per l'arresto.

3.3.2 limite di velocità [in km/h]: Velocità massima legalmente consentita.

3.4 Distanze di arresto

3.4.1 distanza di visibilità per l'arresto d_v [in m]: Lunghezza del tratto di strada necessario per portare un veicolo che viaggia alla velocità di progetto illuminotecnico al completo arresto in condizioni di sicurezza, includendo sia la distanza coperta nel tempo di reazione del conducente, sia lo spazio di frenata (vedere appendice A).

3.4.2 distanza di arresto d_a [in m]: Lunghezza del tratto di strada necessario per portare un veicolo che viaggia al limite di velocità al completo arresto in condizioni di sicurezza, includendo sia la distanza coperta nel tempo di reazione del conducente, sia lo spazio di frenata (vedere appendice A).

3.5 Tipi di illuminazione

3.5.1 illuminazione permanente: Parte dell'illuminazione di una galleria, a luminanza media costante, che si estende dalla sezione di entrata alla sezione di uscita.

3.5.2 illuminazione di rinforzo: Parte dell'illuminazione di una galleria che integra l'illuminazione permanente, garantendo l'adattamento dell'occhio tra luminanze di diverso livello.

3.5.3 illuminazione di emergenza: Parte dell'illuminazione che persiste in caso di mancanza dell'alimentazione normale dell'energia elettrica, garantendo livelli minimi di luminanza, indipendenti dalle prescrizioni qualitative dell'impianto e consentendo agli utenti che si trovano in galleria di poterne uscire in sicurezza, eventualmente a velocità ridotta.

3.6 Zone di riferimento della galleria

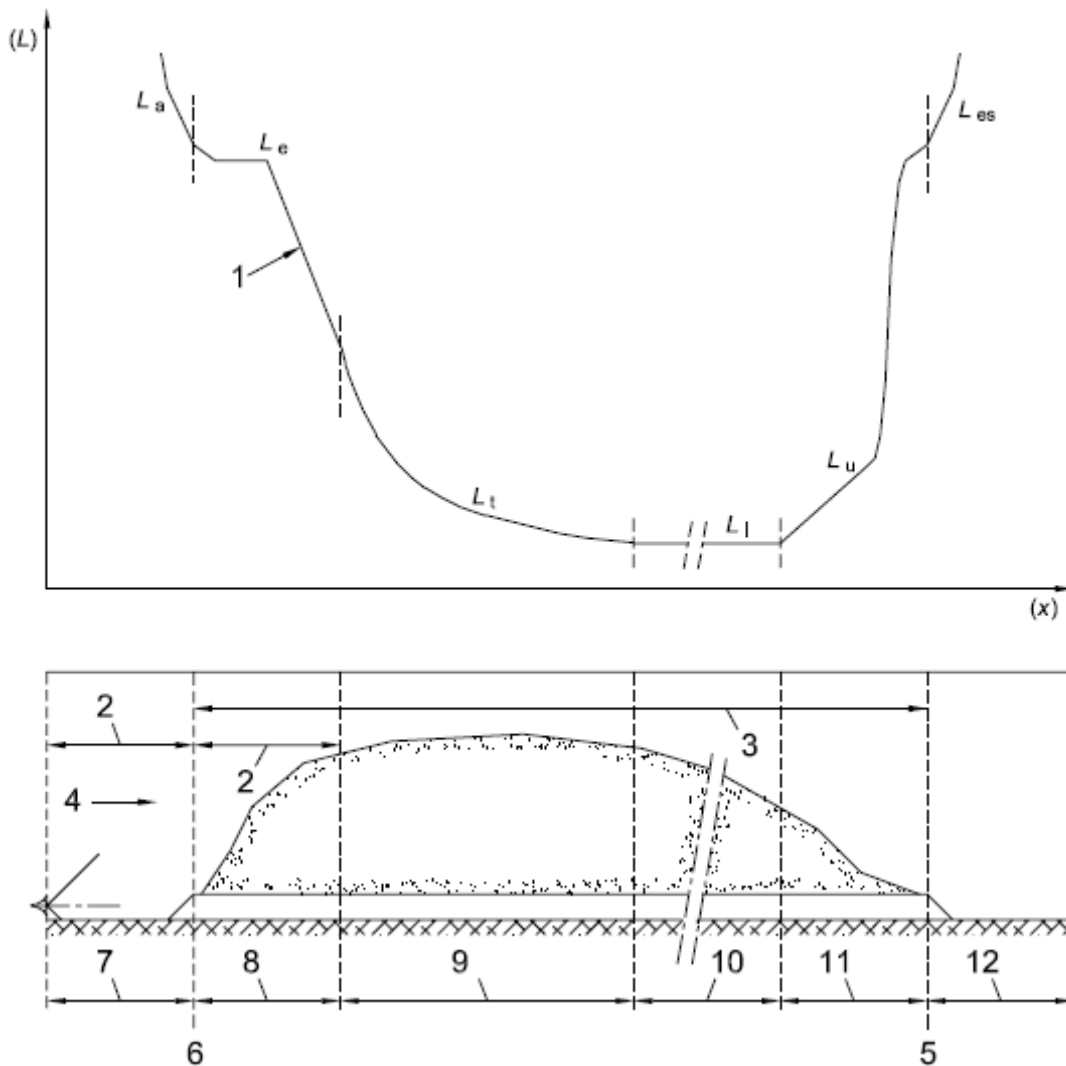
La presente norma suddivide la galleria ed i tratti di strada limitrofi nelle zone indicate nella figura 1.

figura 1

Zone di riferimento per la prescrizione dei requisiti illuminotecnici durante le ore diurne e simboli utilizzati per le luminanze della carreggiata

Legenda

- | | | | |
|---|---------------------------|----|---------------------------------|
| 1 | Diagramma delle luminanze | 8 | Zona di entrata |
| 2 | Distanza di arresto | 9 | Zona di transizione |
| 3 | Lunghezza galleria | 10 | Zona interna |
| 4 | Senso di marcia | 11 | Zona di uscita |
| 5 | Sezione di entrata | 12 | Zona immediatamente esterna |
| 6 | Sezione di uscita | L | Luminanza (cd·m ⁻²) |
| 7 | Zona di accesso | x | Distanza (m) |



[Per UNI: scambiare 5 con 6 in figura]

3.6.1 sezione di entrata: Sezione perpendicolare al senso di marcia situata all'inizio della galleria.

Nota - Nelle gallerie cosiddette "a becco di flauto" è considerata sezione di entrata quella verticale per il punto più alto all'inizio della galleria.

3.6.2 sezione di uscita: Sezione perpendicolare al senso di marcia situata alla fine della galleria.

Nota - Nelle gallerie cosiddette "a becco di flauto" è considerata sezione di uscita quella verticale per il punto più alto alla fine della galleria.

- 3.6.3 zona di accesso:** Tratto di strada all'aperto, immediatamente precedente la sezione di entrata della galleria, di lunghezza pari alla distanza di visibilità per l'arresto.
- 3.6.4 zona di entrata:** Tratto interno alla galleria, a partire dalla sezione di entrata, lungo il quale l'illuminazione deve garantire un valore medio di luminanza tale da consentire al conducente di un veicolo in avvicinamento di individuare l'ostacolo di riferimento (vedere punto 3.7) dalla distanza di visibilità per l'arresto.
- 3.6.5 zona di transizione:** Tratto interno della galleria successivo alla zona di entrata, lungo il quale i valori di luminanza media della carreggiata in una sezione trasversale della galleria vengono ridotti gradualmente per consentire all'occhio del conducente di un veicolo di adattarsi ai livelli di luminanza della zona interna.
- 3.6.6 zona interna:** Tratto interno della galleria, successivo alla zona di transizione, lungo il quale le condizioni di illuminazione devono garantire la percezione dell'ostacolo di riferimento ed il percorso della galleria in sicurezza.
- 3.6.7 zona di uscita:** Tratto interno della galleria dove la visione del conducente di un veicolo in uscita dalla galleria durante le ore diurne è influenzata dalla luce esterna (vedere punto 4.4).
- 3.6.8 zona immediatamente esterna:** Tratto di strada all'aperto immediatamente dopo la sezione di uscita della galleria (vedere punto 5.2).
- 3.6.9 zone a luminanza costante:** La zona interna e la zona immediatamente esterna alla galleria costituiscono le zone a luminanza costante. L'attributo 'costante' deve essere riferito alla luminanza media della zona in esame.
- 3.6.10 zone a luminanza variabile:** La zona di entrata, la zona di transizione e la zona di uscita costituiscono le zone a luminanza variabile poiché in dette zone, in condizioni di illuminazione diurna, la luminanza media trasversale decresce (o cresce) con la distanza progressiva in galleria. Per queste zone il calcolo delle prestazioni illuminotecniche richiede particolari convenzioni (vedere appendice B e appendice C).
- 3.7 ostacolo di riferimento:** Cubo di 0,2 m di lato, a superfici diffondenti, con fattore di riflessione $\rho = 0,1$ posto sul piano stradale, avente una faccia perpendicolare alla direzione del traffico. Ai fini dei calcoli e delle verifiche previste dalla presente norma, si considera unicamente la faccia rivolta verso l'osservatore e perpendicolare alla direzione del traffico.
- 3.8 Luminanze**
- 3.8.1 luminanza di velo equivalente L_{seq} [in $cd \cdot m^{-2}$]:** Luminanza entro il cono di osservazione foveale che provoca un velo equivalente a quello generato dalla diffusione nel bulbo oculare della luce proveniente dalle sorgenti osservate in visione periferica al di fuori di detto cono.
- 3.8.2 luminanza atmosferica L_{atm} [in $cd \cdot m^{-2}$]:** Luminanza perturbatrice della visione dovuta alla luce diffusa da parte dell'atmosfera entro il cono di osservazione foveale per un tratto lungo l'asse di osservazione pari alla distanza di visibilità per l'arresto.
- 3.8.3 luminanza del parabrezza L_{par} [in $cd \cdot m^{-2}$]:** Luminanza perturbatrice della visione dovuta alla luce diffusa dal parabrezza nel cono di visione foveale.

- 3.8.4** **luminanza del cruscotto L_{cru}** [in $cd \cdot m^{-2}$]: Luminanza perturbatrice della visione dovuta alla luce diffusa nel cono di visione foveale dal cruscotto del veicolo condotto dall'osservatore.
- 3.8.5** **luminanza di velo L_v** [in $cd \cdot m^{-2}$]: Luminanza perturbatrice della visibilità dell'ostacolo di riferimento, misurata o stimata dalla distanza di visibilità per l'arresto. La luminanza di velo è la somma della luminanza di velo equivalente, della luminanza dell'atmosfera, di quella del parabrezza e del cruscotto.
- 3.8.6** **luminanza di velo progettuale L_{v75}** [in $cd \cdot m^{-2}$]: 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.
- 3.8.7** **luminanza di entrata L_e** [in $cd \cdot m^{-2}$]: Luminanza prescritta per la carreggiata nella prima metà della zona di entrata.
- 3.8.8** **luminanza di transizione L_t** [in $cd \cdot m^{-2}$]: Luminanza prescritta per la carreggiata in una data sezione trasversale della zona di transizione.
- 3.8.9** **luminanza interna L_i** [in $cd \cdot m^{-2}$]: Luminanza prescritta per la carreggiata della zona interna di una galleria.
- 3.8.10** **luminanza di uscita L_u** [in $cd \cdot m^{-2}$]: Luminanza prescritta per la carreggiata in una sezione trasversale qualsiasi della zona di uscita.
- 3.8.11** **luminanza delle pareti L_p** [in $cd \cdot m^{-2}$]: Luminanza prescritta per il tratto di parete compreso tra il piano d'imposta della parete e la quota di 2 m sopra il piano di carreggiata.
- 3.8.12** **luminanza prescritta $L(x)$** [in $cd \cdot m^{-2}$]: Valore prescritto della luminanza di carreggiata in una data sezione trasversale della galleria, funzione della distanza x dalla sezione di entrata. $L(x)$ compendia in un'unica definizione L_e , L_t , L_i ed L_u (qualora L_u sia prevista).
- 3.8.13** **luminanza esterna L_{es}** [in $cd \cdot m^{-2}$]: Luminanza prescritta, in condizioni di illuminazione notturna, del tratto di carreggiata situato immediatamente all'esterno della galleria, a partire dalla sezione di uscita.
- 3.8.14** **luminanza media trasversale L_{mt}** [in $cd \cdot m^{-2}$]: Valore medio, per ciascuna superficie di galleria, della luminanza dei punti di calcolo o di verifica in una sezione trasversale (vedere appendice B).
Nota – In base alle superfici considerate ed alla posizione di osservazione, si fa riferimento alla luminanza media trasversale della carreggiata, delle pareti o di altre superfici costituenti la galleria per una data posizione di osservazione.
- 3.9** **Uniformità**
- 3.9.1** **uniformità trasversale U** : Rapporto fra la luminanza minima e quella media trasversale nella stessa sezione di una data superficie di calcolo.
- 3.10** **Abbagliamento**
- 3.10.1** **incremento di soglia TI** [in %]: Misura dell'abbagliamento debilitante, causato dalla presenza di sorgenti luminose nel campo visivo del conducente di un veicolo e definito come incremento percentuale della soglia di contrasto in presenza di sorgenti luminose, rispetto alla

soglia di contrasto in assenza delle stesse, intendendo per soglia di contrasto il minimo contrasto oggetto-sfondo necessario alla visibilità dell'oggetto.

$$TI\% = \frac{C_{th,v} - C_{th,0}}{C_{th,0}} \times 100 \quad (1)$$

dove:

$C_{th,v}$ è la soglia di contrasto in presenza di sorgenti luminose;

$C_{th,0}$ è la soglia di contrasto in assenza di sorgenti luminose.

4 ILLUMINAZIONE DIURNA

La condizione di visibilità dell'ostacolo di riferimento, che casualmente si trovi sulla carreggiata nella prima metà della zona di entrata (punto 4.1.4) 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_{mt} , valutata con l'osservatore nella posizione più sfavorevole della carreggiata, è maggiore o uguale alla luminanza di entrata L_e .

Inoltre, in tutte le sezioni di carreggiata della galleria il valore minimo della luminanza media trasversale L_{mt} rispetto alle diverse posizioni di osservazione (vedere punto B.1) non può essere inferiore alla luminanza prescritta $L(x)$, né superiore ai valori della curva del risparmio energetico del punto 8.

Per determinare i requisiti prestazionali dell'impianto di illuminazione di una galleria sono necessari i dati elencati nell'appendice D.

Ai fini della determinazione delle prestazioni, tutte le luminanze si intendono riferite ad una situazione esterna all'autoveicolo.

4.1 Luminanza e lunghezza della zona di entrata

La luminanza di entrata L_e è data dalla formula:

$$L_e = cL_v \quad (2)$$

dove:

L_v è la luminanza di velo;

c è un fattore dipendente dal tipo di impianto e definito dal prospetto 1.

prospetto 1 Valori del fattore c in funzione del tipo di impianto

Tipo di impianto	Fattore c
Controflusso	0,23
Simmetrico	0,25
Proflusso	0,32

La luminanza di velo è data da:

$$L_v = L_{seq} + L_{atm} + L_{par} + L_{cru} \quad (3)$$

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} sono misurati o stimati (appendice E) mentre i valori di L_{par} ed L_{cru} sono imposti dalla presente norma.

Per tutti i valori usati nei calcoli provenienti da misurazioni, ad eccezione di quelli imposti dalla presente norma, il progettista deve dichiarare l'incertezza di misura e tenerne conto nei calcoli e nelle valutazioni.

Il valore di L_v deve essere tale che per l'intero corso dell'anno possa comunque soddisfare le condizioni della formula (2). Si ritiene che L_{v75} , come definita al punto 3.8.6, 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.

4.1.1 Luminanza di velo equivalente

La luminanza di velo equivalente L_{seq} (punto 3.8.1) è definita dalla formula:

$$L_{\text{seq}} = 10 \int_S \frac{dE}{\theta^2} \quad (4)$$

dove:

dE è il contributo infinitesimo dell'illuminamento prodotto dall'elemento di superficie S emittente sul piano perpendicolare alla direzione di visione, nel punto di intersezione tra l'asse di visione ed il piano contenente gli occhi dell'osservatore;

θ è l'angolo in gradi compreso tra la direzione di provenienza della luce emessa dall'elemento di superficie e la direzione di osservazione degli occhi dell'osservatore. Convenzionalmente si suppone che il conducente di un veicolo guardi nella direzione di marcia e si trovi prima dell'entrata in galleria ad una distanza da questa pari alla distanza di visibilità per l'arresto, al centro della corsia di destra e a un'altezza di 1,5 m dal piano carreggiata. Nel caso di corsie in curva la distanza di visibilità per l'arresto è misurata sull'arco di mezzercia della corsia di destra e la direzione di osservazione è data dalla tangente all'arco stesso nel punto in cui si posiziona il conducente;

10 fattore valido per un osservatore di 23 anni. Convenzionalmente si ritiene che questo valore sia da considerarsi soddisfacente ai fini della sicurezza per tutti gli utenti che entrano in galleria. Per valori del fattore diversi da 10, vedere la UNI EN 13201-3.

L'integrale deve essere esteso a tutta la superficie emittente, situata nella sezione di entrata della galleria e delimitata da 2 coni circolari con vertice al centro degli occhi del conducente ed asse parallelo alla direzione di marcia, di cui quello interno con apertura di 1° e quello esterno con apertura di $28,4^\circ$, quest'ultimo essendo inoltre sezionato superiormente ed inferiormente dal diedro avente spigolo orizzontale passante per i vertici dei 2 coni e formato dai 2 semipiani inclinati di 20° sopra e sotto la direzione di marcia.

4.1.2 Luminanza atmosferica

La luminanza L_{atm} dello strato di atmosfera di dimensione pari alla distanza di visibilità per l'arresto è dovuta alla diffusione atmosferica del flusso luminoso proveniente dall'ambiente circostante l'entrata in galleria. La luminanza atmosferica è misurata in loco quando si ritiene possa assumere i valori massimi dell'intero ciclo annuale, oppure stimata secondo le indicazioni del punto E.2.2, mediante la formula:

$$L_{\text{atm}} = 1,3 \frac{d_v E_h}{\pi V_m} \quad (5)$$

dove:

E_h è l'illuminamento orizzontale, espresso in kilolux;

d_v è la distanza di visibilità per l'arresto, in metri;

V_m è la distanza di visibilità meteorologica, ossia la distanza in chilometri alla quale, in conseguenza della luminanza dell'atmosfera, un oggetto nero osservato sullo sfondo del cielo all'orizzonte presenta un contrasto pari a 0,05.

Tenuto conto della variabilità nel tempo di E_h e di V_m , al fine di progettare l'illuminazione di entrata, occorre riferirsi ai valori massimi di queste grandezze, riscontrabili nella vita dell'impianto. Ai fini della sicurezza, si ritengono soddisfacenti i massimi valori di E_h e di V_m che si hanno nel corso di un anno, qualora vengano eliminati quei picchi più elevati che complessivamente coprono una durata massima di 75 h all'anno.

4.1.3 Luminanza del parabrezza e del cruscotto

La luminanza del parabrezza L_{par} e la luminanza del cruscotto L_{cru} sono stimabili tramite valutazioni statistiche. Ai fini della presente norma, sono considerate globalmente e funzioni della luminanza di velo equivalente L_{seq} , secondo la formula seguente:

$$L_{par} + L_{cru} = 0,4 \cdot L_{seq} \quad (6)$$

4.1.4 Lunghezza della zona di entrata

La lunghezza della zona di entrata della galleria deve essere almeno pari alla distanza di arresto d_a valutata a partire dalla sezione di entrata della galleria.

4.1.5 Luminanza della seconda metà della zona di entrata

Nella seconda metà della zona di entrata, la luminanza decresce linearmente fino al punto iniziale della luminanza di transizione (punto 4.2).

4.1.6 Considerazioni aggiuntive sulla luminanza della zona di entrata

La variazione lineare decrescente della luminanza della seconda metà della zona di entrata può anche essere attuata a gradini, ma la curva a gradini deve comunque situarsi al di sopra dei valori della luminanza prescritta $L(x)$. Inoltre, il valore della luminanza di ciascun gradino non può essere minore della metà della luminanza del gradino precedente.

Gli stessi valori minimi di luminanza sopraindicati devono essere ottenuti anche nei tratti di entrata della galleria realizzati in tutto o in parte con soffitti a graticcio, finestrate o altre strutture che utilizzano la luce naturale.

Il calcolo dei valori di luminanza deve essere effettuato secondo le indicazioni dell'appendice E.

4.2 Luminanza e lunghezza 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:

$$L_t = \frac{L_e}{(1,9 + t)^{1,4}} \quad (7)$$

oppure, in alternativa:

$$L_t = \frac{L_e}{\left(1,9 + \frac{x_v}{v}\right)^{1,4}} \quad (8)$$

dove:

- L_e è la luminanza di entrata per $L_v = L_{v75}$;
- t è il tempo di percorrenza, in secondi, lungo la galleria al limite di velocità v [in m/s], misurato dall'inizio della zona di transizione;
- x_v 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.

Nota - Nel tratto terminale della zona di transizione, il valore di L_t valutato per un impianto a controflusso può essere considerato equivalente al valore di L_t valutato per un impianto di tipo simmetrico.

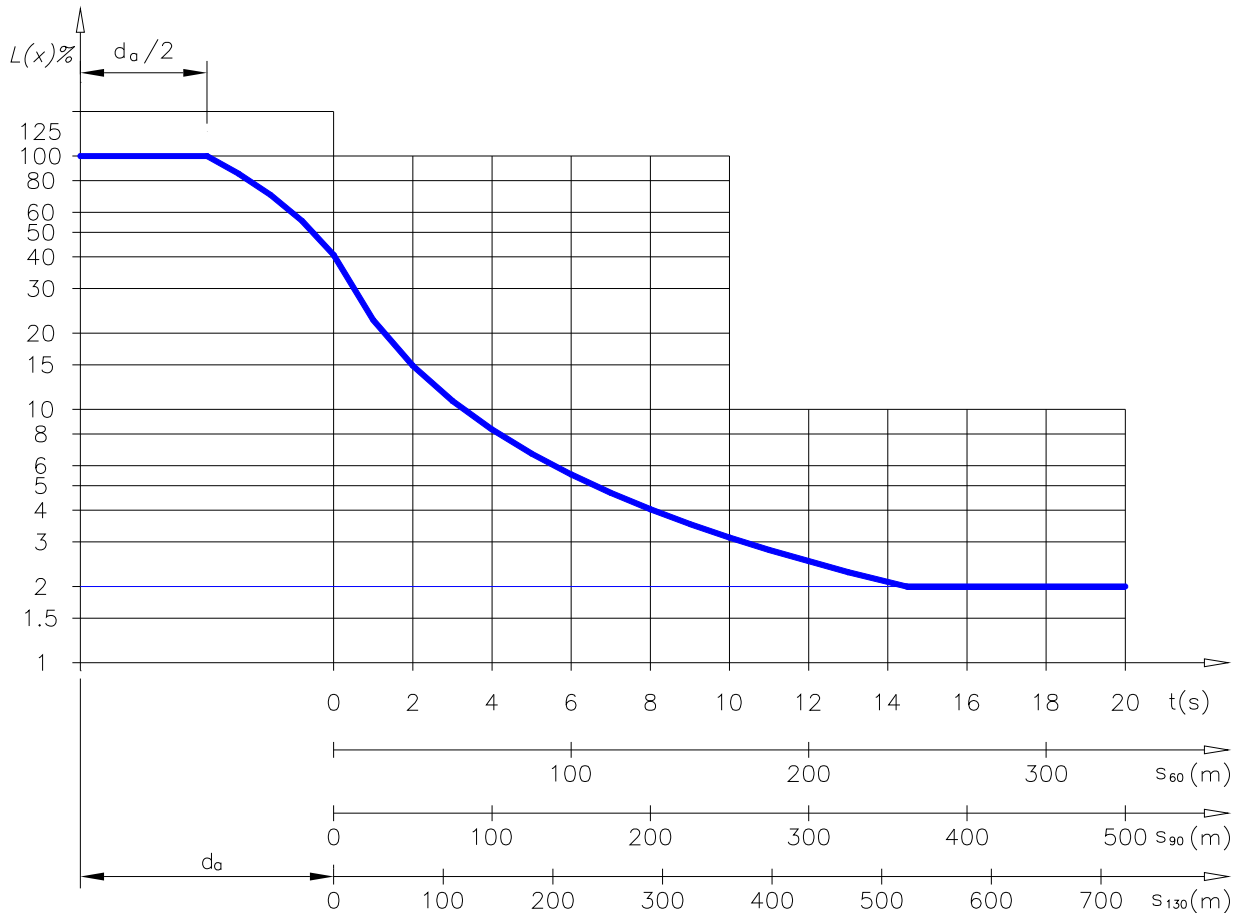
La figura 2 illustra l'andamento della luminanza di transizione in funzione del tempo e delle distanze percorribili a diverse velocità, espressa in percentuale di L_e .

figura 2

Curva della luminanza prescritta $L(x)$ in funzione del tempo t e delle distanze s per velocità di 60, 90 e 130 km/h

Legenda

- 1 zona di entrata
- 2 zona di transizione
- $L(x)$ luminanza prescritta (in % della luminanza di entrata)
- t tempo (s)
- d_a distanza di arresto (m)
- s_{60} distanze s percorse nel tempo t a 60 km/h (m)
- s_{90} distanze s percorse nel tempo t a 90 km/h (m)
- s_{130} distanze s percorse nel tempo t a 130 km/h (m)



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:

$$x_t = v \cdot \left[\left(\frac{L_e}{L_i} \right)^{\frac{5}{7}} - 1,9 \right] \quad (9)$$

Nella formula L_i è il valore della luminanza interna quale risulta dalle formule (10) o (11).

La curva di variazione della luminanza di transizione calcolata può anche essere sostituita da una spezzata a gradini, ma nessun punto della curva a gradini può avere luminanza minore della luminanza espressa dalla formula (9). Inoltre, il valore della luminanza di ciascun gradino non può essere minore della metà della luminanza del gradino precedente.

4.3 Luminanza della zona interna

La luminanza media della zona interna deve risultare non minore della luminanza L_i ottenuta con le formule:

$$L_i = 1,5 \cdot L \quad \text{per gallerie a senso unico di marcia} \quad (10)$$

oppure:

$$L_i = 2 \cdot L \quad \text{per le gallerie a doppio senso di marcia} \quad (11)$$

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, applicando l'analisi del rischio come definita dalla UNI 11248, 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 $1,5 \cdot L_m$ o a $2 \cdot L_m$ secondo che si tratti di gallerie a senso unico di marcia o a doppio senso di marcia.

4.4 Luminanza della zona di uscita

La luminanza della zona di uscita rimane quella della zona interna L_i . Tuttavia è consigliabile aumentare la luminanza della zona di uscita al fine di aumentare il comfort visivo in uscita o permettere attraverso gli specchietti retrovisori una migliore individuazione degli automezzi in fase di sorpasso, particolarmente in gallerie a senso unico di marcia con sorpasso consentito.

Nota - Nelle gallerie a senso unico la luminanza della zona di uscita è da considerarsi utile all'adattamento visivo in entrata qualora le stesse siano occasionalmente utilizzate a velocità ridotta in doppio senso di marcia.

Qualora nella zona di uscita sia previsto un incremento della luminanza interna diurna, nel tratto di galleria compreso fra una distanza pari a quella di arresto d_a prima della sezione di uscita e fino a 20 m dalla stessa, la luminanza media trasversale della zona di uscita deve risultare non minore della luminanza L_u definita dalla formula:

$$L_u = L_i + \frac{4 \cdot L_i}{d_a - 20} \cdot x_u \quad (12)$$

dove:

L_i è la luminanza interna come definita nella formula (10) o (11);

d_a è la distanza di arresto;

x_u è la distanza progressiva dall'inizio della zona di uscita.

La variazione (in aumento) della luminanza può essere attuata a gradini, ma nessun punto della curva a gradini può avere luminanza minore della luminanza di uscita L_u espressa dalla formula (12). Inoltre, il valore della luminanza di ciascun gradino non può essere maggiore del doppio della luminanza del gradino precedente.

4.5 Gallerie corte

Per l'illuminazione permanente delle gallerie corte si applicano le prescrizioni del punto 4.3. Per l'illuminazione di rinforzo si devono tenere presenti le indicazioni del prospetto 2.

prospetto 2 **illuminazione di rinforzo delle gallerie corte**

Lunghezza della galleria	<25 m	$25\text{ m} \leq L < 75\text{ m}$	$75\text{ m} \leq L \leq 125\text{ m}$
L'uscita è ben visibile dalla distanza di visibilità per l'arresto? ¹⁾	si	no	si
La luce naturale penetra liberamente in galleria? ²⁾	si	no	si
La luminanza delle pareti è adeguata? ³⁾	si	no	si
Il traffico orario è scarso? ⁴⁾	si	no	si
illuminazione da realizzare	Nessuna	illuminazione di livello pari al 50% di quanto previsto per le gallerie lunghe	illuminazione di livello pari al 100% di quanto previsto per le gallerie lunghe
<p>1) La distanza di visibilità per l'arresto si valuta nel tratto antistante la sezione di entrata.</p> <p>2) Si ritiene, ai fini del prospetto, che la luce penetri liberamente nella galleria quando la luminanza della carreggiata a metà galleria sia $\geq 1/10$ della luminanza di velo progettuale valutata secondo il punto C.2 per ambedue gli imocchi.</p> <p>3) Si ritiene, ai fini del prospetto, che la luminanza delle pareti sia adeguata quando sia $\geq 0,6 \cdot L_c$ essendo L_c la luminanza della carreggiata.</p> <p>4) Si ritiene, ai fini del prospetto, che il traffico giornaliero medio (TGM) sia scarso quando non supera il valore di 3 000 veicoli/giorno e non sia prevista la presenza di ciclisti o pedoni.</p>			

4.6 Correlazione del livello di illuminazione con la luminanza esterna

Ai fini di garantire la sicurezza del traffico ed il risparmio energetico, l'illuminazione della galleria deve poter variare in funzione delle condizioni di luminosità esterna. In questo caso i livelli della luminanza di entrata e della luminanza di transizione devono essere correlati con la corrispondente luminanza di velo esterna secondo le formule (2) e (7).

Il valore della luminanza di velo esterna deve essere misurato tramite luminanzometro del quale sia nota la funzione di trasferimento parametri misurati → luminanza di velo, tenendo conto dell'incertezza di misura ed effettuando opportune tarature in loco. Le variazioni di luminanza dei rinforzi devono avvenire con costante di tempo compresa tra 3 min e 5 min.

Il luminanzometro deve essere collocato prima dell'entrata del fornice da controllare, in posizione quanto più prossima alla distanza di visibilità per l'arresto, lateralmente o al di sopra

della carreggiata e deve essere puntato sulla mezzeria della sezione di entrata a 1,5 m dal piano carreggiata.

Qualora in fase di progettazione siano previsti diversi livelli della luminanza all'entrata atti ad adeguare la stessa alla variabilità della luminanza di velo esterna (con o senza riduttori di flusso), il rapporto fra le luminanze all'entrata del livello superiore (eventualmente parzializzato) e quello del livello inferiore deve essere minore di 3.

5 ILLUMINAZIONE NOTTURNA

L'illuminazione notturna riguarda l'intera galleria e l'eventuale tratto di strada immediatamente all'uscita della galleria.

Le gallerie corte, le gallerie con soffitto a graticcio (pre-gallerie), le gallerie finestrate e le strutture similari, complementari a gallerie con impianto di illuminazione diurna, devono essere anch'esse illuminate durante la notte.

5.1 Zone interne alla galleria

Indipendentemente dalla loro lunghezza, le gallerie in cui è prevista un'illuminazione diurna devono essere illuminate anche di notte, dalla sezione di entrata a quella di uscita.

Di notte la luminanza media della carreggiata deve essere almeno pari:

- a $1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, se la galleria non fa parte di una strada illuminata;
- alla luminanza del tratto di strada di cui fa parte, se quest'ultima è illuminata, ma con livello non minore di $1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

5.2 Zone immediatamente esterne alla galleria

In casi particolari (gallerie consecutive a distanza minore o uguale alla distanza di visibilità per l'arresto, curve accentuate, restringimenti, biforcazioni, zone pericolose) anche la zona immediatamente esterna alla galleria deve essere illuminata con le modalità previste dalla UNI 11248 e le prescrizioni della UNI EN 13201-2 per un tratto dalla sezione di uscita almeno uguale al tratto pericoloso, evitando in ogni caso che la luminanza media esterna della carreggiata L_{es} sia minore della luminanza notturna dell'ultimo tratto di galleria.

6 ALTRI REQUISITI ILLUMINOTECNICI

6.1 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, vedere punto 6.3).

6.2 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 prescritte al punto 6.4.

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.

6.3 Limitazione dell'illuminazione di rinforzo nelle gallerie a doppio senso di marcia

Nelle gallerie a doppio senso di marcia le prescrizioni relative all'illuminazione di rinforzo della presente norma possono essere ristrette alle sole corsie ad un unico senso di marcia. Su pareti, corsie di emergenza, marciapiedi, banchine, ecc. è richiesta una luminanza non minore del 60% della luminanza media della corsia più vicina alle suddette superfici di calcolo.

6.4 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:

U_0 ed $U_t \geq 0,50$ sulla carreggiata o sulle corsie a senso unico di marcia (punto 6.3)

U_0 ed $U_t \geq 0,40$ su tutte le altre superfici e per le corsie a senso di marcia inverso (punto 6.3)

$U_l \geq 0,70$ sulla carreggiata

$U_l \geq 0,60$ su tutte le altre superfici.

Nota - Il concetto di uniformità longitudinale non è applicabile nelle zone a luminanza variabile. Per queste zone si ritiene che i limiti di oscillazione delle luminanze entro la curva del risparmio energetico di cui al punto 8 siano sufficienti a garantire uniformità longitudinali adeguate.

6.5 Limitazione dell'abbagliamento

L'incremento di soglia T_l non deve superare:

- 10% nelle zone a luminanza costante;
- 20% nelle zone a luminanza variabile.

6.6 Illuminazione di emergenza

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 $1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ sull'intera galleria e per un tempo minimo di 30 min.

L'emergenza deve essere segnalata agli utenti della galleria tramite l'indicazione "Galleria non illuminata". L'indicazione deve essere posta alla distanza di visibilità per l'arresto, prima della sezione di entrata.

7 MANUTENZIONE

Il ciclo di manutenzione previsto deve essere tale da assicurare in qualsiasi momento il mantenimento dei livelli di luminanza e di uniformità prescritti dalla presente norma. Il fattore di manutenzione adottato per i calcoli deve pertanto tener conto delle periodicità previste per gli interventi di pulizia degli apparecchi di illuminazione, per il ricambio lampade, per la pulizia delle pareti della galleria, per il controllo di tutto l'impianto ed in particolare delle apparecchiature d'emergenza qualora esistenti. Tali interventi devono essere attuati scrupolosamente.

Inoltre occorre prevedere un controllo periodico del sistema di regolazione dell'impianto alle variazioni della luce naturale, al fine di garantire il suo corretto funzionamento.

In fase di progetto si deve prevedere che gli interventi di manutenzione siano individuati tramite misurazioni delle luminanze in galleria con periodicità definita ed in accordo col fattore di manutenzione assunto a base del progetto.

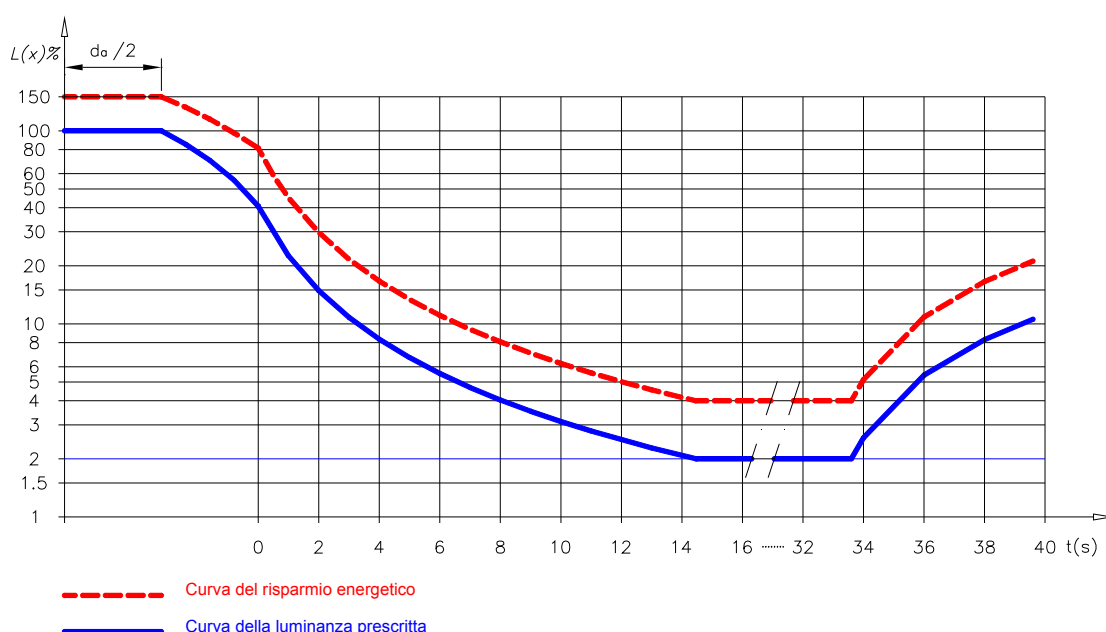
8. RISPARMIO ENERGETICO

Garantite tutte le condizioni di sicurezza, il progetto illuminotecnico di una galleria stradale deve essere orientato verso il massimo risparmio energetico, esigenza qui tanto più importante in quanto da un lato le luminanze coinvolte sono maggiori di quelle tipiche dell'illuminazione stradale, dall'altro l'impianto funziona, sia pur parzialmente, per 24 h al giorno. A tal fine è quindi essenziale che :

- il progetto sia basato su di una visita in loco per verificare le condizioni locali ed effettuare le misurazioni delle luminanze ambientali per la determinazione della luminanza di velo progettuale L_{v75} ;
- per i portali e le superfici frontali che circondano l'entrata della galleria siano adottati materiali scuri, o verniciati in colore scuro, con fattore di riflessione $\leq 0,2$ garantendo la visibilità notturna del bordo del fornice mediante materiali retro-riflettenti che appaiono neri in riflessione diffusa di giorno e chiari per retro-riflessione di notte;
- la conformità alle prescrizioni della presente norma siano verificate in fase di collaudo e periodicamente dopo la messa in servizio della galleria mediante misurazioni dei parametri prestazionali prescritti;
- nella galleria siano impiegati rivestimenti stradali chiari e comunque ne siano note o misurate le caratteristiche di riflessione;
- la luminanza nella prima metà della zona di entrata sia contenuta entro 1,5 volte la luminanza di entrata; la luminanza di transizione, la luminanza interna e la luminanza di uscita non superino di 2 volte la luminanza prescritta $L(x)$ nelle relative zone; la luminanza della seconda metà della zona di entrata sia inferiore ai valori rappresentati dal segmento di retta che unisce le estremità limitrofe dei due valori precedenti. La figura 3 riporta a scopo illustrativo i limiti sopra definiti.

figura 3

Limiti di variazione delle luminanze dell'illuminazione di rinforzo e dell'illuminazione permanente



APPENDICE A Distanza di visibilità per l'arresto (normativa)

La distanza di arresto e la distanza di visibilità per l'arresto dipendono tra l'altro dal tempo di reazione del conducente, dalla velocità del veicolo e dall'aderenza che si può manifestare tra pneumatici e pavimentazione stradale. Quest'ultima proprietà è quantificata dal coefficiente di aderenza longitudinale, che è un parametro fortemente influenzato dallo stato di asciutto o bagnato della pavimentazione stradale. La scelta del valore più conveniente per la zona di accesso deve essere fatta sulla base delle condizioni annue prevalenti.

La distanza di visibilità per l'arresto è regolamentata dalla legislazione vigente¹.

Nelle gallerie esistenti, la velocità di progetto illuminotecnico non può essere inferiore al limite di velocità per il tratto interessato, aumentata di 10 km/h, secondo la legislazione vigente².

Nel caso in cui lo stato di bagnato della carreggiata in presenza di elevate luminanze di velo sia da considerarsi probabile per più di 75 h all'anno, come può avvenire per esempio nelle gallerie di alta montagna durante il disgelo, devono essere utilizzati i valori relativi ai prospetti A.1 ed A.2, illustrati dai grafici delle figure A.1 e A.2, rispettivamente per le autostrade e per le altre strade. Negli altri casi possono essere usati i valori del prospetto A.3 illustrati dal grafico di figura A.3, valido indifferentemente sia per le autostrade sia per le altre strade.

Prospetto A.1 **Autostrade - Superficie stradale bagnata - Distanze di visibilità per l'arresto [m]**

Pendenza % Velocità km/h	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
80	99	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	89	88
90	120	118	116	115	114	112	111	110	108	107	106	105	104
100	142	140	138	136	134	133	131	129	128	126	125	123	122
110	168	165	162	160	157	155	153	151	148	147	145	143	141
120	195	192	188	185	182	179	176	174	171	169	166	164	162
130	225	221	217	213	209	206	202	199	196	193	190	187	184
140	258	252	247	243	238	234	230	226	222	218	215	212	208

Nota – Valori intermedi possono essere ottenuti per interpolazione lineare.

¹ Al momento della pubblicazione della presente norma è in vigore il D.M. 5 novembre 2001 n. 6792 e successive modifiche e/o integrazioni (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

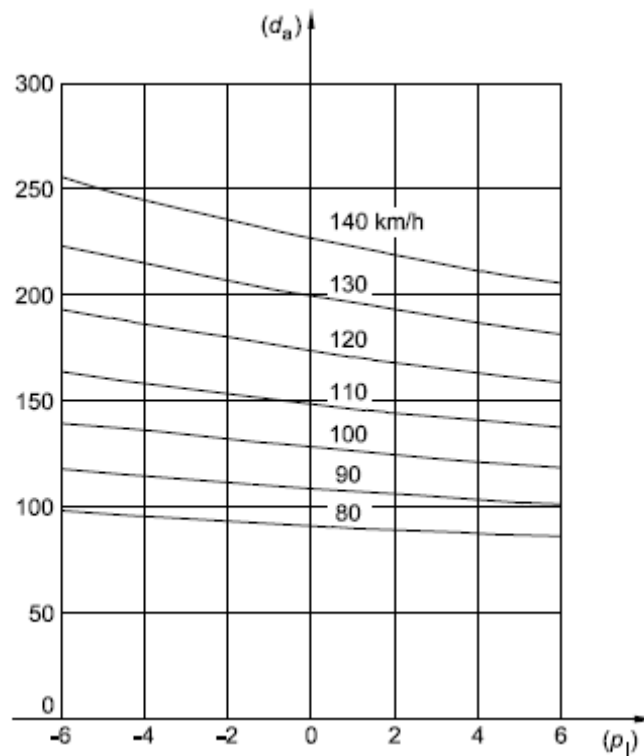
² Al momento della pubblicazione della presente norma è in vigore il D.M. 14 settembre 2005 e successive modifiche e/o integrazioni (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) "Norme di illuminazione delle gallerie stradali".

figura A.1

Distanza di visibilità per l'arresto per le autostrade, in funzione della pendenza longitudinale (pavimentazione stradale bagnata)

Legenda

- d_v Distanza di visibilità per l'arresto (m)
- ρ_l Pendenza longitudinale (%)



[Per UNI: in fig. sostituire d_a con d_v]

Altre strade - Superficie stradale bagnata - Distanze di visibilità per l'arresto [m]

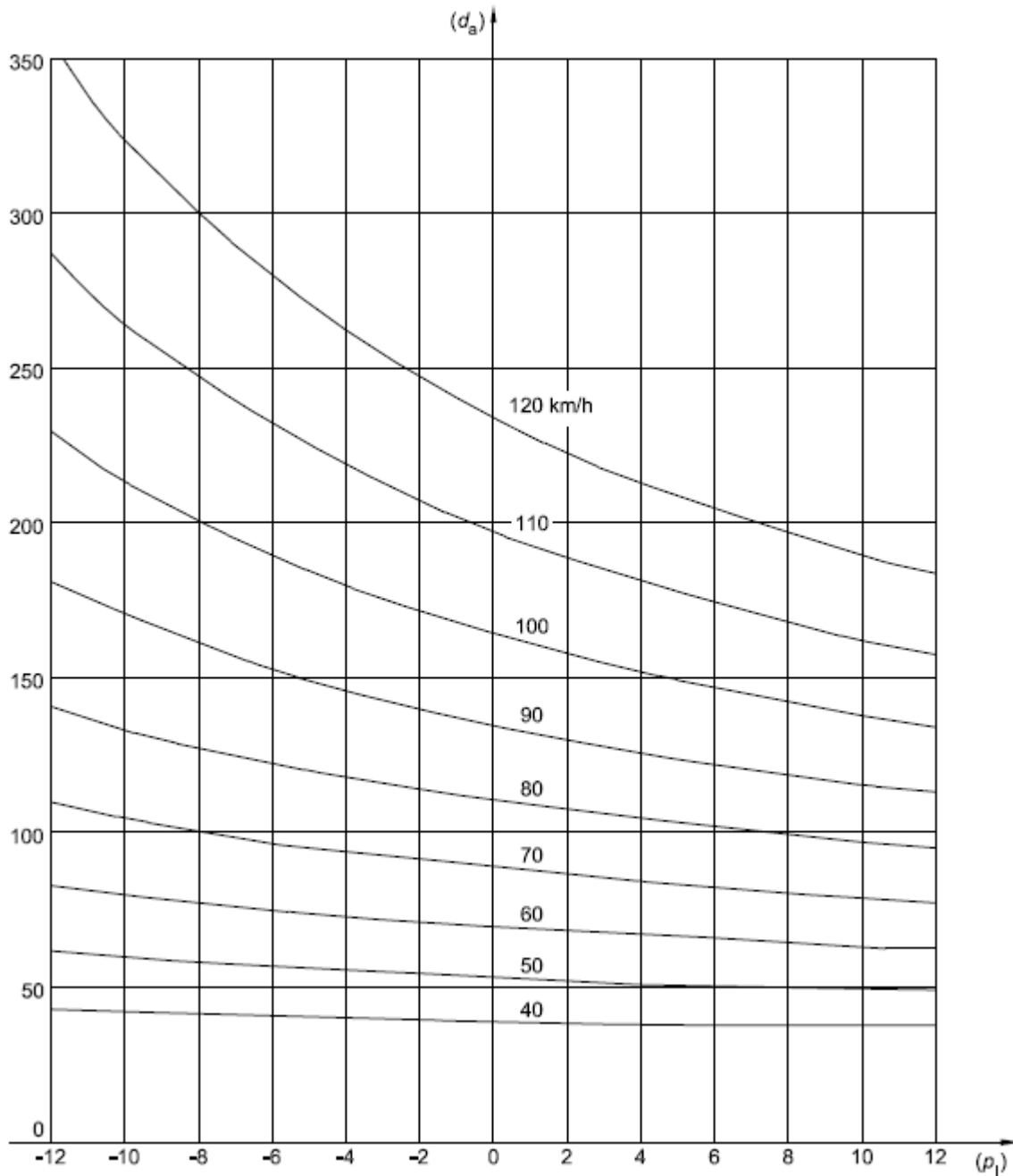
Pendenza % Velocità km/h	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
25	25	25	24	24	24	24	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22
30	31	31	31	30	30	30	30	30	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28	27	27	27	27	27	27
40	45	44	44	43	43	43	42	42	42	41	41	41	40	40	40	39	39	39	39	38	38	38	38	38	38	37
50	62	61	61	60	59	58	58	57	56	56	55	55	54	54	53	53	52	52	51	51	51	50	50	50	50	49
60	84	82	81	79	78	77	76	75	74	73	72	71	70	69	69	68	67	67	66	65	65	64	64	63	63	63
70	108	106	103	101	99	98	96	94	93	92	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81	80	79	78	78	77	77
80	140	136	133	130	127	124	122	119	117	115	113	111	109	108	106	105	103	102	101	99	98	97	96	95	94	94
90	186	180	175	170	165	161	157	153	150	147	144	141	138	136	133	131	129	127	125	123	121	119	118	116	115	115
100	233	225	217	210	203	198	192	187	182	178	174	170	166	163	160	157	154	151	149	146	144	142	140	138	136	136
110	289	278	267	257	249	240	233	226	220	214	209	204	199	194	190	186	182	179	175	172	169	166	164	161	159	159
120	358	342	327	314	302	291	281	272	264	256	249	242	236	230	224	219	214	210	206	202	198	194	191	187	184	184

Nota – Valori intermedi possono essere ottenuti per interpolazione lineare.

figura A.2 **Distanza di visibilità per l'arresto per le altre strade, in funzione della pendenza longitudinale (pavimentazione stradale bagnata)**

Legenda

- d_v Distanza di visibilità per l'arresto (m)
- ρ_l Pendenza longitudinale (%)



[Per UNI: in fig. sostituire d_a con d_v]

prospetto A.3

Autostrade ed altre strade - Superficie stradale asciutta - Distanze di visibilità per l'arresto [m]

Pendenza % \ Velocità km/h	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	27	27	27	27	27	27	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
40	38	38	37	37	37	37	37	37	36	36	36	36	36	36	35	35	35	35	35	35	35
50	49	49	49	48	48	48	48	47	47	47	47	46	46	46	46	46	45	45	45	45	45
60	61	61	61	60	60	59	59	59	58	58	58	57	57	57	56	56	56	56	55	55	55
70		74	73	73	72	72	71	71	70	70	69	69	69	68	68	67	67	67	66	66	
80		86	85	84	84	83	83	82	81	81	80	80	79	79	78	78	78	77	77	76	
90			100	100	99	98	97	96	96	95	94	93	93	92	92	91	90	90	89		
100			117	116	115	114	113	112	111	110	109	108	107	106	106	105	104	103	103		
110				134	133	131	130	129	127	126	125	124	123	122	121	120	119	118			
120				154	152	150	149	147	145	144	142	141	140	138	137	136	135	134			
130					173	171	169	167	165	163	161	160	158	156	155	153	152				
140					196	193	191	188	186	184	182	180	178	176	174	172	170				
150						218	215	212	209	206	204	201	199	196	194	192					

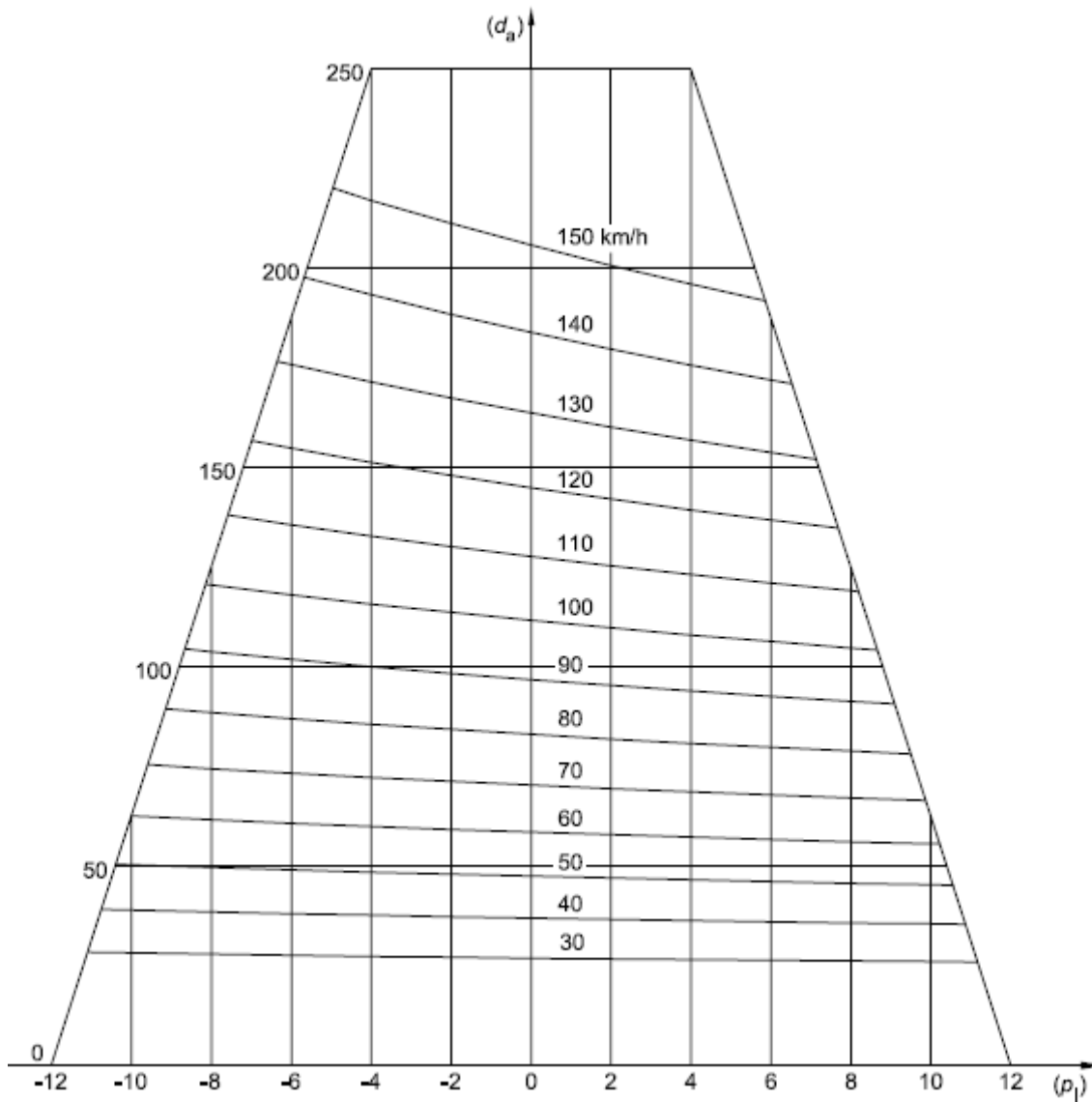
Nota – Valori intermedi possono essere ottenuti per interpolazione lineare.

figura A.3

Distanza di visibilità per l'arresto sia per le autostrade sia per le altre strade, in funzione della pendenza longitudinale (pavimentazione stradale asciutta)

Legenda

- d_v Distanza di visibilità per l'arresto (m)
- ρ_l Pendenza longitudinale (%)



[Per UNI: in fig. sostituire d_a con d_v]

APPENDICE B Metodi di calcolo delle prestazioni fotometriche (normativa)

B.1 Metodi di calcolo

(in corsivo le entità utili al calcolo)

I calcoli atti a progettare un impianto di illuminazione che soddisfi le prescrizioni della presente norma riguardano:

1. la zona interna e l'eventuale zona immediatamente esterna alla galleria (*zone a luminanza costante*);
2. le zone di entrata, la zona di transizione e l'eventuale zona di uscita (*zone a luminanza variabile*).

Per tutte le zone della galleria e per tutti i livelli previsti devono essere calcolate le luminanze punto per punto, le luminanze medie, le uniformità generali e l'incremento di soglia TI , con le posizioni di osservazione definite dalla presente norma.

Nel caso in cui siano previste verifiche volte a stabilire la conformità dell'impianto al progetto illuminotecnico, sono anche richiesti i calcoli di illuminamento e di uniformità di illuminamento.

Per le zone a luminanza costante deve essere inoltre calcolata l'uniformità longitudinale di luminanza sull'asse di ciascuna corsia e su alcuni assi delle pareti, delle corsie di emergenza, delle banchine, dei marciapiedi, ecc. come definiti nel seguito.

Qualora la galleria abbia una lunghezza maggiore di 500 m ed il limite di velocità superi i 70 km/h, deve anche essere calcolato il livello medio della luminanza di emergenza.

I risultati dei calcoli devono soddisfare i requisiti della presente norma, compresi i limiti imposti dalle prescrizioni sul risparmio energetico.

Nelle zone a luminanza variabile la luminanza media è sostituita dalla luminanza media trasversale L_{mt} e l'uniformità generata dall'uniformità trasversale U_t . I risultati ottenuti dai calcoli di L_{mt} per le posizioni di osservazione che danno i risultati minori devono essere confrontati sezione per sezione con i valori di luminanza prescritta $L(x)$ per la carreggiata.

Il confronto tra i valori prescritti ed i risultati ottenuti è numerico. Tale confronto deve essere fatto sui risultati del calcolo, prima di qualsiasi loro arrotondamento utile alla presentazione del progetto. Il confronto deve considerare le tolleranze dei parametri che influiscono sui risultati.

Nelle zone a luminanza variabile, al fine di evitare l'esposizione dei risultati di confronto in lunghi tabulati numerici, il progettista può riportare in relazione solo alcuni valori tra quelli calcolati (per esempio i risultati ottenuti ogni 25 m o meno), dichiarando che i valori prescritti sono soddisfatti anche nei punti non direttamente riportati in relazione. I metodi grafici possono essere utilizzati per meri scopi illustrativi, ma non sostituiscono i risultati numerici calcolati.

Il confronto tra i risultati del calcolo ed i valori prescritti o richiesti deve essere fatto anche per le superfici alle quali la presente norma attribuisce specifiche prescrizioni (per esempio pareti, corsie di emergenza, marciapiedi, ecc.) o in presenza di parzializzazioni di cui ai punti 4.6 e 5. Nelle zone a luminanza variabile i valori di uniformità longitudinale di luminanza non vengono calcolati: i limiti di oscillazione delle luminanze entro la curva del risparmio energetico di cui al punto 8 sono sufficienti a garantire implicitamente uniformità longitudinali adeguate. Devono però essere soddisfatte le prescrizioni circa le uniformità generali previste dalla presente norma ed in particolare dell'uniformità trasversale U_t .

In tutti i calcoli deve essere considerato il fattore di manutenzione previsto dal piano di manutenzione o comunque concordato con il committente. In particolare, poiché l'illuminazione delle pareti è elemento essenziale nella visione degli ostacoli, il progettista deve definire le condizioni di manutenzione delle stesse, affinché sia mantenuto nel tempo il valore del fattore di riflessione assunto a base dei calcoli.

Nei calcoli normalmente non vengono considerate le interriflessioni. Tuttavia qualora il progettista lo ritenga utile, la prima interriflessione può essere conteggiata con esplicita dichiarazione nella relazione di calcolo.

I valori della ripartizione dell'intensità luminosa degli apparecchi di illuminazione, utile ai calcoli, devono provenire da misurazioni eseguite secondo la UNI EN 13032-1 e la UNI 11356, nel sistema di coordinate C- γ . Ripartizioni rilevate per valori di γ con passo di 1° sono da preferirsi, in particolar modo per gli apparecchi di illuminazione che presentano ripartizioni con un elevato gradiente dell'intensità luminosa.

Le caratteristiche di riflessione delle superfici oggetto dei calcoli devono provenire da misure su campioni prelevati, rappresentativi delle superfici stesse, o misure effettuate in loco con adeguata strumentazione. Per le superfici equipaggiate con pannelli o dipinte con particolari vernici i valori dei fattori di riflessione possono essere reperiti dalla documentazione tecnica dei relativi fornitori. Qualora le campionature non possano essere disponibili o le misurazioni in loco non possano essere effettuate ed in generale le proprietà riflettenti delle superfici non siano reperibili, per le corsie e le banchine si utilizzano i dati del prospetto D.3 della norma UNI 11248 (coefficienti ridotti di luminanza r della pavimentazione di classe C2) con coefficiente medio di luminanza Q_o pari a $0,056 \text{ sr}^{-1}$, mentre per le pareti ed i marciapiedi si consiglia una riflessione di tipo diffondente lambertiano con fattore di riflessione $\rho = 0,40$ per le pareti e le superfici verticali e $\rho = 0,30$ per le superfici calpestabili.

La ripartizione delle intensità luminose degli apparecchi di illuminazione e le caratteristiche di riflessione delle superfici che intervengono nei calcoli devono essere rilevate da laboratori che operino secondo la UNI CEI EN ISO/IEC 17025.

B.1.1 Localizzazione dei punti di calcolo e modalità di esecuzione dei calcoli

Ciascuna superficie piana o curva facente parte di una galleria può costituire una *superficie di calcolo*. Le superfici della galleria soggette a prescrizioni illuminotecniche sono definite dalla presente norma; a queste se ne possono aggiungere altre richieste dal committente.

Per ogni superficie di calcolo è definito un *campo di calcolo* di dimensioni rappresentative dell'intera superficie di calcolo e su questo un *reticolo di calcolo*. Il reticolo di calcolo è costituito da un numero definito di *punti di calcolo*, suddivisi regolarmente in *file longitudinali* e *file trasversali* alla direzione di marcia.

Nelle zone a luminanza variabile, per ogni superficie di calcolo, è anche utile considerare una sola fila trasversale di punti di calcolo. In questo caso viene definita una *sezione di calcolo*.

E' compito del progettista individuare numericamente ed indicare nella relazione di progetto dove e come siano state scelte le entità di cui sopra.

Qualora i calcoli non coinvolgano l'intera superficie di calcolo, i campi di calcolo devono essere scelti su tratti di galleria significativi per l'intera superficie e si intendono rappresentativi dei risultati per tutta la superficie di pertinenza. Laddove intervengano variazioni geometriche di sezione (per esempio piazzole di sosta, restringimenti o slarghi, ecc.) il progetto deve espressamente tenerne conto, adeguando il campo di calcolo alla variazione intervenuta.

Per i calcoli delle luminanze, delle relative uniformità e degli abbagliamenti la posizione dell'osservatore viene fissata convenzionalmente al centro di ciascuna corsia di marcia, ad un'altezza di 1,5 m dal piano carreggiata. La direzione di osservazione è definita da una semiretta con origine nel baricentro degli occhi dell'osservatore, parallela al piano verticale contenente la direzione di marcia ed inclinata sotto l'orizzontale di un angolo compreso tra $0,5^\circ$ e $1,5^\circ$.

B.1.1.1. Metodo di calcolo con osservatore fisso

Nel senso di marcia l'osservatore è posto 60 m prima del campo di calcolo. Per tutti i punti di calcolo presenti sul campo di calcolo l'osservatore viene mantenuto in posizione fissa; pertanto la distanza tra punto ed osservatore non è costante.

B.1.1.2 Metodo di calcolo con osservatore mobile

I punti del reticolo di calcolo vengono considerati per file trasversali alla direzione di marcia. Nel senso di marcia l'osservatore è posto 86 m prima di ciascuna fila trasversale e fatto avanzare del passo di ciascuna fila in modo che la sua distanza dalla fila considerata risulti sempre di 86 m.

Nota 1 - Questa distanza, vista da 1,5 m di altezza, corrisponde ad un angolo di osservazione di 1° sotto l'orizzontale, angolo unificato nei rilievi delle caratteristiche di riflessione dei manti stradali.

Nota 2 - Il fatto che resti costante la distanza tra osservatore e fila trasversale non significa che resti costante la distanza tra osservatore e punto di calcolo di ciascuna fila; questa di fatto varia per ciascun punto.

Il metodo può essere applicato a qualsiasi zona della galleria, sia che si tratti del calcolo delle luminanze puntuali, delle luminanze medie o delle uniformità generali o longitudinali di luminanza, ma risulta particolarmente indicato nei calcoli delle luminanze medie trasversali nelle zone a luminanza variabile ove è richiesto un valore medio sezione per sezione. Col metodo dell'osservatore mobile le uniformità longitudinali, ove richieste, devono essere calcolate considerando nel senso di marcia un numero di punti uguale a quello di un reticolo di calcolo come definito nel punto B.1.1.4.

E' compito del progettista indicare in relazione il metodo di calcolo seguito per ciascun campo di calcolo.

B.1.1.3 Campo di calcolo

Nelle zone a luminanza costante ove sono richiesti calcoli dell'uniformità longitudinale, qualunque sia il metodo di calcolo usato, il campo di calcolo deve avere una dimensione nel senso di marcia pari a 1 o più interdistanze di apparecchi. Nella zona interna il campo di calcolo deve iniziare preferibilmente in corrispondenza di un apparecchio dell'illuminazione permanente, mentre nell'eventuale zona immediatamente esterna si vedano le prescrizioni della UNI EN 13201-3 per l'illuminazione delle strade.

Nelle zone a luminanza variabile in cui si sia adottato il metodo di calcolo dell'osservatore fisso e curve di variabilità a gradini, la massima lunghezza di un gradino non deve superare 112 m.

Nota - Questa lunghezza pari a $172 - 60$ m è conforme alla massima distanza di osservazione calcolata per un angolo minimo di osservazione di 0,5° sotto l'orizzontale.

Trasversalmente alla galleria il campo di calcolo comprende l'intera superficie di calcolo o, come nel caso delle pareti, una parte della stessa come definito nel seguito.

Per superfici di calcolo adiacenti i relativi campi di calcolo nel senso di marcia devono avere la stessa lunghezza e, trasversalmente alla galleria, essere allineati.

B.1.1.4 Reticolo di calcolo

Sul campo di calcolo viene definita una griglia di punti che costituiscono il reticolo di calcolo. Il reticolo di calcolo deve essere centrato sul campo di calcolo, sia longitudinalmente sia trasversalmente.

Nel senso longitudinale della galleria la distanza tra i punti di calcolo deve essere compresa tra 2 m e 3 m, limiti inclusi, con un minimo di 7 punti. Il numero dei punti longitudinali di calcolo ed il numero delle interdistanze degli apparecchi di illuminazione con cui è stato definito il campo di calcolo non possono avere un divisore comune. I punti così definiti sulla

carreggiata sono ripetuti sulle pareti e su tutte le superfici di calcolo interessate e sono applicabili sia alle zone a luminanza costante sia alle zone a luminanza variabile qualora venga scelto uno schema di calcolo a gradini. Per superfici di calcolo adiacenti le relative file longitudinali di punti devono avere la stessa lunghezza; i punti di calcolo devono essere allineati ed in numero uguale.

Nel senso trasversale della galleria i punti di calcolo sono definiti in funzione della superficie di calcolo considerata, e cioè:

- a) per ogni corsia si considerano 3 punti (o un numero maggiore dispari), centrati sulla corsia;
- b) per ciascuna parete si considerano 2 punti rispettivamente a 1,0 m ed a 1,7 m dal piano carreggiata, situati sulla parete stessa oppure, in via semplificativa, la parete viene assimilata ad un piano verticale con pari fattore di riflessione, posto all'intersezione della parete stessa con il piano della carreggiata;
- c) per le restanti superfici di calcolo un numero di punti tale che la loro distanza sia compresa tra 0,5 m e 1,25 m, centrati sulla superficie stessa.

Sul reticolo di calcolo così definito a scelta del progettista può essere applicato sia il metodo di calcolo con osservatore fisso, sia il metodo di calcolo con osservatore mobile.

Per le zone a luminanza variabile, in alternativa alla schematizzazione a gradini, può essere utile un *calcolo per sezioni* con il metodo dell'osservatore mobile, in quanto permette in tali zone di meglio adeguare i risultati dei calcoli alla luminanza prescritta $L(x)$. In questo caso la galleria è pensata suddivisa in sezioni distanti dai 2 m ai 3 m; in ogni sezione il numero trasversale di punti, il loro passo ed il loro allineamento su superfici di calcolo adiacenti devono essere gli stessi delle file di calcolo trasversali precedentemente definite.

Nelle zone a luminanza variabile, ed in particolare nei punti angolosi delle curve a gradini qualora previste, deve essere accertata la conformità dei risultati alla luminanza prescritta $L(x)$ ed alle limitazioni dei consumi energetici.

B 1.1.5 Apparecchi di illuminazione utili ai calcoli

Per ogni punto di calcolo si considerano tutti gli apparecchi compresi in un rettangolo i cui lati distano dallo stesso punto:

- 5 H verso l'osservatore;
- 5 H nel senso trasversale alla galleria, da ambo le parti del punto;
- 12 H nel senso di marcia,

essendo H la massima altezza di installazione tra tutti gli apparecchi considerati.

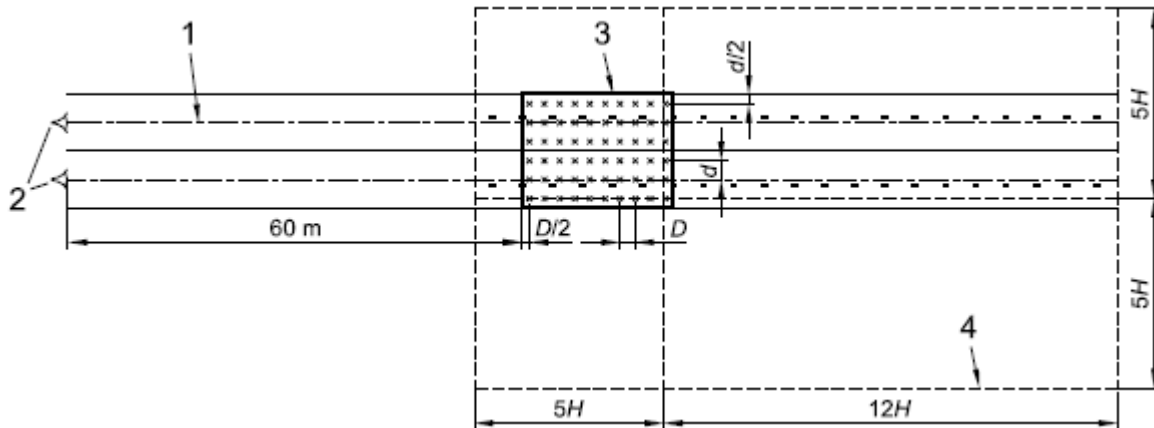
Nella figura B.1 è riportato uno schema del reticolo di calcolo ed i limiti di intervento degli apparecchi di illuminazione rispetto ai punti di calcolo.

figura B.1

Schema del reticolo di calcolo

Legenda

- 1 Asse corsia
- 2 Osservatore
- 3 Campo di calcolo
- 4 Limite di intervento apparecchi

**B.1.1.6 Valutazione dei risultati dei calcoli**

Per le superfici di calcolo che presentano diffusione diversa da quella lambertiana, al variare della posizione dell'osservatore sulla carreggiata variano i valori calcolati di L_m , L_{mt} , U_o , U_i , U_t e TI . Per ogni posizione dell'osservatore richiesta, ai fini del confronto dei risultati di calcolo con le prescrizioni della presente norma, vengono considerati i valori più sfavorevoli, indipendentemente se questi si verificano con posizioni di osservazione diverse.

Per la valutazione della luminanza media e dell'uniformità generale di luminanza si considerano tutti i punti del reticolo; per la valutazione di U_t tutti i punti della sezione di calcolo; per la valutazione dell'uniformità longitudinale di luminanza sono considerati di volta in volta i soli punti posti sull'asse di ciascuna corsia. In generale per superfici con file longitudinali di punti di calcolo in numero minore di 3 l'uniformità longitudinale di luminanza è valutata sulla fila di punti più vicina agli apparecchi di illuminazione; in particolare per le pareti è considerata la fila di punti a 1,7 m dal piano della carreggiata.

B.1.2 Calcolo dell'incremento di soglia TI

L'incremento di soglia TI è calcolato per tutte le zone della galleria.

Poiché le luminanze che intervengono nel calcolo del TI dipendono dalla posizione dell'osservatore, l'incremento di soglia varia al variare del punto di osservazione. Dei diversi valori trovati con l'osservatore posto in ciascuna corsia di marcia e fatto avanzare come descritto nel seguito, ai fini delle prescrizioni è considerato quello il cui valore risulta massimo. Il calcolo dell'incremento di soglia TI (in %) deve essere effettuato con la formula appropriata fra le 2 seguenti:

$$TI = 65 \cdot \frac{L_{seq}}{L_R^{0,8}} \quad \text{per } L_R \leq 5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{B.1})$$

$$TI = 95 \cdot \frac{L_{seq}}{L_R^{1,05}} \quad \text{per } L_R > 5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{B.2})$$

ove L_R rappresenta la luminanza media della carreggiata ad impianto nuovo (fattore di manutenzione = 1) e per una determinata posizione di osservazione.

La luminanza L_{seq} è definita dalla formula:

$$L_{seq} = 10 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{\theta_i^2} \quad (B.3)$$

dove:

E_i è l'illuminamento ad impianto nuovo, prodotto sull'occhio dell'osservatore dall' i -esimo apparecchio di illuminazione. Per la valutazione di E_i l'osservatore è posto a 1,5 m di altezza, trasversalmente al centro di ciascuna corsia di marcia e longitudinalmente a $2,75 \cdot (H - 1,5)$ m dal primo apparecchio dell'illuminazione permanente nel senso di marcia, H essendo l'altezza di questo apparecchio. L'osservatore successivamente è fatto avanzare di un passo pari al passo longitudinale del reticolo di calcolo o della sezione di calcolo ed il Tl è ricalcolato;

θ_i è l'angolo, espresso in gradi, compreso fra l'asse visivo e la congiungente l'occhio con l' i -esimo apparecchio di illuminazione. Convenzionalmente l'asse visivo è definito dalla semiretta uscente dal baricentro degli occhi, contenuta in un piano verticale passante per il suddetto baricentro, parallelo alla direzione di marcia ed inclinata di 1° sotto l'orizzontale;

n è il numero di apparecchi di illuminazione utili al calcolo, posti davanti all'osservatore, visibili al di sotto di un piano inclinato di 20° sopra la direzione di marcia e contenente la retta orizzontale, trasversale alla galleria, passante per il baricentro degli occhi dell'osservatore e lateralmente entro un cono di apertura pari a $28,4^\circ$. La sommatoria viene arrestata in corrispondenza della sezione di uscita, oppure quando l'apparecchio di illuminazione di una singola fila dà un contributo minore del 2% della somma dei contributi della fila stessa fino allora computati. La luminanza esterna della sezione di uscita non è considerata.

Nota: Per il fattore moltiplicativo 10 vedere il punto 4.1.1.

Nelle zone a luminanza variabile il calcolo del Tl è fatto con il metodo dell'osservatore mobile, usando ancora le formule (B.1) e (B.2) in cui la luminanza L_R sia sostituita dalla luminanza trasversale media L_{mt} della sezione considerata qualora l'osservatore, a 86 m dalla suddetta sezione, si trovi nella corsia che produce la minima luminanza media trasversale ad impianto nuovo (fattore di manutenzione = 1). L_{seq} è la luminanza di velo equivalente, calcolata secondo la formula (B.3). Il calcolo è effettuato per tutte le sezioni indicate nel punto B.1.1.4 per le zone a luminanza variabile. Di tutti i valori del Tl così calcolati il più elevato è confrontato con il Tl prescritto dalla presente norma, prima di qualsiasi suo arrotondamento utile alla rappresentazione dei risultati.

APPENDICE C Verifiche delle prestazioni illuminotecniche (normativa)

C.1 Verifiche illuminotecniche

Le verifiche sono solitamente eseguite prima della messa in esercizio di un nuovo impianto (collaudi) o periodicamente per garantire la continuità di conformità di un impianto in esercizio oppure per definire metodologie di manutenzione.

A discrezione del committente le verifiche illuminotecniche sono usate per avere la certezza che l'impianto di illuminazione sia conforme:

- alle prescrizioni della presente norma;
- alle specifiche del progetto illuminotecnico.

Fatte salve le prescrizioni del seguito, le misurazioni dei parametri illuminotecnici devono essere eseguite secondo la UNI EN 13201-4.

La scelta dei tratti di misura è a discrezione del verificatore e può non coincidere con i campi di calcolo, specialmente quando si tratta di verifiche atte a definire la conformità dell'impianto alle prescrizioni della presente norma. In particolare per quest'ultimo caso le misurazioni devono essere effettuate nel tratto più lontano dal punto di consegna dell'energia elettrica, pur nel rispetto delle indicazioni del punto B.1.1.5.

Ad esclusione delle misurazioni dell'incremento di soglia, le misurazioni sono effettuate con lo spegnimento di tutte le sorgenti di luce che non facciano parte dell'impianto di illuminazione per una determinata condizione operativa ed in particolare con lo spegnimento della segnaletica luminosa.

Negli impianti di nuova costruzione le sorgenti luminose devono aver funzionato per almeno 400 h e le misurazioni devono essere effettuate dopo un tempo di accensione di almeno 1 h di tutte le sorgenti relative ad ogni condizione operativa.

Le misurazioni devono essere effettuate con la strumentazione adatta all'uso e provvista del certificato di taratura nel campo di misura idoneo per coprire i valori prescritti dalla presente norma. Le procedure di misura adottate devono essere adeguate allo scopo delle misurazioni ed all'incertezza desiderata.

La strumentazione deve essere posizionata nei punti di misura, manualmente oppure tramite un mezzo mobile che possa procedere a velocità adeguata alla tecnica di misurazione adottata.

Nota - Quest'ultima soluzione è particolarmente consigliata nei casi in cui, per ragioni di traffico, l'arteria non permetta chiusure prolungate e nelle verifiche periodiche (vedere punto C.1.4).

In ogni caso per ciascun punto misurato deve essere possibile associare al valore fotometrico le sue coordinate geometriche rispetto ad un sistema di coordinate predefinito. Tutte le misure devono essere comprensive dell'incertezza di misura, della quale occorre tener conto per un confronto con i dati prestazionali richiesti. Il confronto deve essere eseguito secondo le regole indicate nella UNI EN ISO 14253-1.

Sebbene la posizione dell'osservatore sia indifferente per le superfici perfettamente diffondenti, di fatto le superfici reali possono presentare leggeri scostamenti dalla diffusione perfetta, tali però da influire sui risultati delle verifiche. Per queste superfici convenzionalmente si assume che la posizione di osservazione sia fatta coincidere con la posizione di osservazione delle corsie.

Le condizioni ambientali influiscono sulle misure. Le misurazioni devono essere effettuate nelle condizioni ambientali correnti per l'uso dell'impianto di illuminazione. In particolare

devono essere evitate misurazioni in caso di veli di umidità sulle superfici di misura, gradi anormali d'inquinamento atmosferico o temperature al di fuori del campo operativo previsto per l'impianto.

C.1.1 Verifica di conformità alle prescrizioni della presente norma

Sia che si tratti di un impianto di nuova installazione o di un impianto esistente, la verifica di conformità alla presente norma richiede la determinazione della luminanza prescritta $L(x)$ per tutta la lunghezza della galleria come descritto al punto 4 e nell'appendice E.

Le verifiche sono effettuate sulla base delle misurazioni di luminanza e del Tl . Parametri prestazionali derivati, come per esempio le uniformità, vengono verificati col calcolo, a seguito delle rilevazioni delle relative grandezze punto per punto.

Le misure effettuate in sezioni di galleria o tratti di misura³, definiti dal verificatore, sono confrontati con i valori dei parametri prescritti dalla presente norma. L'impianto è conforme se, tenendo conto dell'incertezza di misura, tutti i parametri sono soddisfatti.

Le verifiche si concludono con un rapporto che deve riportare, oltre ai dati generali dell'impianto, almeno i seguenti dati:

- i valori della luminanza prescritta;
- le misure effettuate;
- l'incertezza di misura;
- le caratteristiche della strumentazione usata, conformemente alla UNI 11142;
- le condizioni di misura;
- la tensione di alimentazione della linea di alimentazione degli apparecchi in corrispondenza del tratto di misura.

Qualora le misure risultino conformi alle prescrizioni della presente norma, il rapporto di prova deve darne atto.

C.1.2 Verifica di conformità dell'impianto al progetto illuminotecnico

Se è richiesta la verifica della conformità a un progetto illuminotecnico, ed è possibile accertare che questo è stato redatto in conformità alle prescrizioni della presente norma, le verifiche sono eseguite nelle condizioni di calcolo previste dal progetto.

Le verifiche di conformità dell'impianto al progetto illuminotecnico devono essere estese agli illuminamenti ed alle uniformità di illuminamento. La rispondenza dei soli valori di illuminamento ai valori di progetto non costituisce comunque garanzia di conformità alle prescrizioni della presente norma.

Le misure effettuate in conformità al progetto illuminotecnico sono confrontate con i valori dei parametri calcolati. L'impianto è conforme se, tenendo conto dell'incertezza di misura, tutti i parametri sono soddisfatti.

Le verifiche si concludono con un rapporto che deve riportare, oltre ai dati generali dell'impianto almeno i seguenti dati:

- i valori calcolati;
- le misure effettuate;
- l'incertezza di misura;
- le caratteristiche della strumentazione usata, conformemente alla UNI 11142;
- le condizioni di misura;
- la tensione della linea di alimentazione degli apparecchi in corrispondenza dei tratti di misura.

Qualora le misure risultino conformi ai calcoli del progetto illuminotecnico, il rapporto di prova deve darne atto.

³ Tratto di galleria corrispondente formalmente al campo di calcolo definito nel punto B.1.1.3 sul quale vengono scelte ed eventualmente mediate le luminanze misurate.

C.1.3 Procedura in caso di non conformità

In caso di non conformità delle misure alle prescrizioni della presente norma o al progetto illuminotecnico, si deve procedere a verifiche supplementari progettuali, geometriche, elettriche ed illuminotecniche dell'impianto onde poter definire la causa di non conformità.

In particolare, deve essere verificato, da parte di laboratori e/o professionisti di comprovata competenza ed esperienza, quel punto o quei punti del seguente elenco cui si attribuisca verosimilmente la causa di non conformità:

- il progetto ed i relativi calcoli;
- l'insudiciamento degli apparecchi e delle superfici della galleria;
- le ore di funzionamento delle sorgenti luminose;
- la ripartizione delle intensità luminose. Si preleva uno o più apparecchi dall'impianto non conforme e si verificano i valori delle intensità luminose;
- le caratteristiche di riflessione delle superfici che intervengono nei calcoli. Tramite misurazioni in loco o in laboratorio su campioni di manto, prelevati dai manufatti dell'impianto non conforme, si verificano i valori dei coefficienti ridotti di luminanza;
- la geometria dell'impianto (posizione rispetto alle corsie, altezza, interdistanza ed orientamento degli apparecchi di illuminazione);
- la geometria della carreggiata, delle corsie e delle pareti;
- la tensione di alimentazione della linea degli apparecchi di illuminazione in corrispondenza del tratto di misura. Qualora si ritenga che la tensione possa variare rapidamente nel tempo, la verifica dovrà essere effettuata in più momenti diversi;
- le misurazioni con strumentazione più accurata delle luminanze e degli illuminamenti non conformi se si ritiene che la non conformità sia dovuta ad incertezze di misura troppo elevate;
- ogni altro parametro che sia ritenuto responsabile della non conformità.

Se si ritiene che le condizioni ambientali possano aver influito sulle misurazioni, queste devono essere ripetute in circostanze più favorevoli.

C.1.4 Verifiche periodiche

Le verifiche periodiche hanno lo scopo di caratterizzare l'impianto durante l'esercizio con il fine di accertare il superamento dei requisiti prestazionali della norma o del progetto e di definire le condizioni di manutenzione.

Nota: Per queste misurazioni sono preferibili strumentazioni sistemate su mezzi mobili, effettuate ad adeguata velocità, in modo da non arrecare eccessivo disturbo al traffico.

Le misurazioni possono essere effettuate senza lo spegnimento delle sorgenti di luce che non facciano parte dell'impianto di illuminazione. Quest'eventualità deve essere specificata nel rapporto di prova.

Possono essere eseguite su un numero ridotto o maggiore di punti rispetto a quelli previsti dai reticoli di calcolo individuati al punto B.1.1.4 o in condizioni di misura semplificate.

Queste condizioni devono essere chiaramente indicate nel rapporto di prova e possono essere definite dal progettista, dal committente o da chi esegue le misure previa esplicita valutazione delle condizioni di progetto dell'impianto.

APPENDICE D Dati da fornirsi da parte del committente (normativa)

La progettazione illuminotecnica degli impianti di illuminazione per galleria secondo le prescrizioni della presente norma richiede la disponibilità dei seguenti dati di progetto che il committente dell'opera deve fornire al progettista o quest'ultimo concordare con il primo in un rapporto di responsabilità comune:

1. Planimetrie e sezioni quotate della galleria, ivi comprese le zone di accesso e di uscita.
2. Pendenza della zona di accesso e della carreggiata.
3. Orientamento geografico della galleria.
4. Limite di velocità nel tratto di strada precedente la galleria.
5. Flusso di traffico TGM - Traffico Giornaliero Medio (unicamente per le gallerie corte).
6. Fattore di manutenzione e rispettivo Piano di Manutenzione (pubblicazione CIE 154:2003).
7. Campo termico di funzionamento dell'impianto.
8. Caratteristiche di riflessione di tutte le superfici che intervengono nei calcoli.
9. Fattore di riflessione minimo mantenuto delle pareti, fino a 2 m dal piano carreggiata.
10. Condizioni prevalenti dello stato igro-idrometrico della carreggiata che precede la galleria (asciutta o bagnata) e conseguente scelta delle tabelle per la valutazione della distanza di visibilità per l'arresto. La condizione di pavimentazione stradale bagnata può essere concomitante con la massima luminanza ambientale (per esempio, pavimentazioni stradali bagnate per lo scioglimento della neve in giornate soleggiate). Nelle condizioni suddette lo stato di carreggiata bagnata è considerato prevalente qualora esso si verifichi per oltre 75 h, anche non consecutive, nel corso di un anno.
11. Qualora non faccia parte dell'incarico al progettista:
 - a) misurazioni o valutazione della luminanza di velo progettuale dalla distanza di visibilità per l'arresto o in alternativa:
 - b) fotografia della zona di accesso, centrata sulla sezione di entrata, scattata da una distanza da questa pari alla distanza di visibilità per l'arresto (o fotografia delle superfici che circondano la futura sezione di entrata più disegno prospettico del manufatto qualora questo sia in fase di progettazione).

Per la fotografia si precisa:

 - l'obiettivo deve avere un'apertura angolare che copra almeno 60° sul piano orizzontale; si devono evitare obiettivi che provochino distorsioni vistose;
 - l'obiettivo deve trovarsi preferibilmente al centro della corsia di destra, ad una quota di 1,5 m dal piano stradale;
 - l'asse dell'obiettivo deve intersecare la mezzera della sezione d'entrata, ad una quota di 1,5 m dal piano stradale;
 - c) valutazione dei rischi per la strada di accesso alla galleria, come richiesto dalla UNI 11248, per l'individuazione del livello di luminanza interna.

APPENDICE E Valutazione della luminanza di velo progettuale per la determinazione della luminanza di entrata (normativa)

E.1 Premessa

La luminanza di velo è definita dalla formula (3).

Occorre distinguere tra il valore della luminanza di velo in un dato momento L_v , utile per definire le prestazioni dell'impianto di illuminazione in quel momento (adeguamento dell'impianto ai valori di luminanza esterna) ed il valore di luminanza di velo progettuale L_{v75} come definita nel punto 3.8.6, da usare per il dimensionamento della luminanza di entrata.

Poiché la distanza di visibilità per l'arresto d_v varia al variare dello stato igro-idrometrico della carreggiata e le luminanze delle superfici circostanti l'entrata variano con le condizioni meteorologiche ambientali, la luminanza di velo progettuale L_{v75} deve essere valutata nelle condizioni di cielo sereno e strada asciutta. Qualora si prevedano lunghi periodi (>75 h all'anno anche non consecutive) di cielo sereno e strada bagnata, la luminanza di velo progettuale L_{v75} deve essere valutata per distanze di visibilità per l'arresto tipiche delle strade o autostrade bagnate.

Convenzionalmente la luminanza di velo progettuale L_{v75} , adottata per il dimensionamento dell'impianto, corrisponde a quella di valore maggiore tra quelle trovate.

E.2 Determinazione della luminanza di velo progettuale L_{v75}

La luminanza di velo progettuale L_{v75} può essere determinata con misurazioni dirette sia applicando la formula (E.1) o con il metodo descritto nel punto E.2.1 sia con metodi alternativi di comprovata validità, purché rispettino i requisiti di cui al punto 4. In tutti i casi, le misurazioni devono garantire l'individuazione del massimo valore L_{v75} relativo a quell'entrata, condizione che può richiedere misurazioni ripetute.

Le misure devono essere eseguite in giornate soleggiate e nelle ore di massima luminosità, apportando alle stesse le dovute correzioni per tener conto delle variazioni che potrebbero intervenire nel corso dell'anno.

Per tali correzioni risulta utile una verifica complementare degli illuminamenti orizzontali E_h al suolo ed un loro confronto con i valori convenzionali di cui il prospetto E.1 riporta i valori in funzione della latitudine del luogo.

prospetto E.1 Illuminamenti orizzontali convenzionali E_{h75}

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

Le misurazioni devono essere effettuate dalla distanza di visibilità per l'arresto, prima della sezione di entrata. Nel caso di forniche consecutive con distanza tra la sezione di uscita del precedente e la sezione di entrata del successivo minore della distanza di visibilità per l'arresto, le misure di L_v e di E_h devono essere effettuate dalla sezione di uscita del fornice che precede.

Nel caso in cui le misurazioni non siano eseguibili, come per esempio per le gallerie in fase di prima progettazione, o nel caso di progetti preliminari, la luminanza di velo progettuale L_{v75} è determinata analiticamente, mediante la formula (3) che, con evidente significato dei simboli, diventa:

$$L_{v75} = L_{seq75} + L_{atm75} + L_{par75} + L_{cru75} \quad (E.1)$$

E.2.1 Determinazione della luminanza di velo equivalente progettuale L_{seq75}

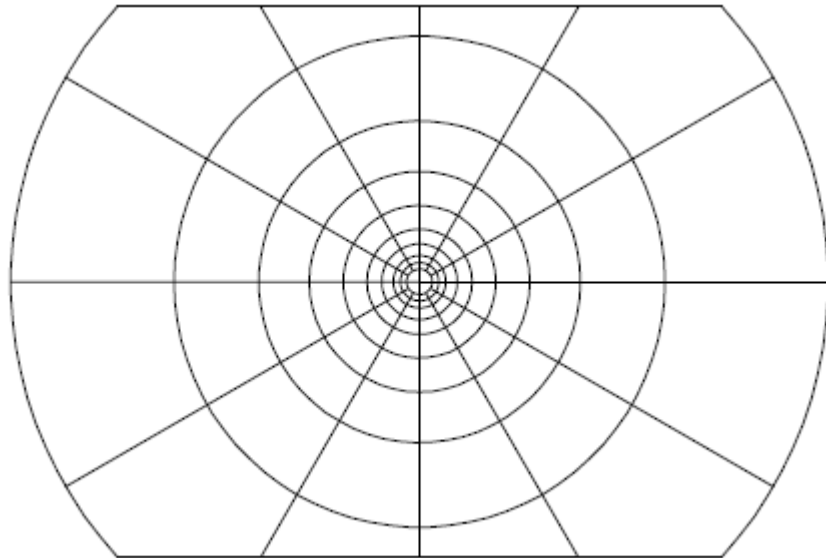
E' possibile determinare la luminanza di velo equivalente progettuale L_{seq75} tramite una fotografia dello scenario attorno all'entrata come indicato nell'appendice A e la misurazione delle luminanze dei vari elementi di superficie che compongono lo scenario attorno all'entrata della galleria.

Per le gallerie in fase di prima progettazione, la fotografia delle superfici attorno alla futura entrata sono abbinate ad uno schizzo prospettico di tutti i manufatti dell'opera, in modo da simulare quello che sarà lo scenario definitivo dell'entrata.

Il metodo utilizza la formula E.1 o in via semplificativa il diagramma polare della figura E.1 (diagramma di Adrian) che è costituito da 9 anelli concentrici suddivisi in 12 settori, angularmente uguali e pari a 30° , ma di altezza tale da produrre la stessa luminanza di velo equivalente.

figura E.1

Diagramma polare per la valutazione di L_{seq75}



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.

Per la determinazione dei raggi delle circonferenze concentriche procedere nel seguente modo:

- calcolato il fattore di scala $f = d_{foto}/d_{reale}$ della fotografia in base alla dimensione della fotografia d_{foto} , rapportata ad una dimensione nota della galleria d_{reale} (per esempio la distanza tra parete e parete), i raggi dei cerchi r_c sono dati da:

$$r_c = \operatorname{tg} \theta \cdot d_v \cdot f \quad (\text{E.2})$$

dove:

θ sono gli angoli definiti dal prospetto E.2;

d_v è la distanza di visibilità per l'arresto.

Il diagramma è troncato sotto e sopra come indicato al punto 4.1.1 per tener conto delle limitazioni di visibilità del parabrezza. Per i settori troncati si riducono le rispettive luminanze di competenza del 78% (settori più grandi) e del 22% (settori più piccoli).

Gli angoli sottesi dai raggi delle circonferenze che limitano i settori del diagramma polare, visti dalla distanza di arresto, sono ripresi nel prospetto E.2.

prospetto E.2

Angoli sottesi dai raggi delle circonferenze che limitano i settori del diagramma polare della figura E.1

Circonferenza	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Apertura θ	1,0°	1,5°	2,0°	2,9°	4,0°	5,8°	8,3°	12,0°	18,0°	28,4°

Le luminanze medie delle superfici emittenti che interessano ciascuno dei 108 settori, di cui è costituito il diagramma, hanno lo stesso peso sulla luminanza di velo equivalente progettuale che può quindi essere calcolata con la formula:

$$L_{\text{seq75}} = 0,51 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^9 \cdot \sum_{j=1}^{12} L_{i,j} \quad (\text{E.3})$$

dove:

$L_{i,j}$ è la luminanza della superficie emittente dell'i-esimo anello e del j-esimo settore del diagramma polare.

La formula di cui sopra richiede la conoscenza delle misure di luminanza delle varie componenti dello scenario all'entrata della galleria (cielo, strada, prati, costruzioni, ecc.) quando queste raggiungono i massimi valori ottenibili nel corso dell'anno. Se queste misure sono state ridotte a tempi più brevi, occorre apportare alle stesse le dovute correzioni, secondo quanto indicato nel punto E.2.

Qualora le misurazioni delle luminanze delle superfici che circondano l'imbocco della galleria non siano eseguibili, possono essere utilizzati i valori cautelativi del prospetto E.3.

prospetto E.3

Valori convenzionali di luminanza da considerare nella stima di L_{seq75}

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

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

E.2.2**Determinazione della luminanza atmosferica L_{atm75}**

La determinazione della luminanza atmosferica L_{atm} si effettua tramite la formula (5) che, con evidente significato dei simboli, diventa:

$$L_{atm75} = 1,3 \frac{d_v \cdot E_{h75}}{\pi \cdot V_{m75}} \quad (E.4)$$

con misurazioni dei parametri che ivi intervengono, direttamente in loco per un periodo di tempo di un anno, escludendo quelle punte più elevate che complessivamente coprono una durata massima di 75 h all'anno.

Qualora le misurazioni dei parametri della formula (E.4) non siano effettuabili, si può ricorrere per E_{h75} ai dati del prospetto E.1 e per V_{m75} ai dati cautelativi del prospetto E.4.

prospetto E.4

Distanza di visibilità meteorologica V_m

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

Per quote intermedie a quelle riprese nel prospetto E.4 è ammessa un'interpolazione (estrapolazione) lineare tra i valori del prospetto arrotondata al chilometro.

E.2.3**Determinazione della luminanza del parabrezza L_{par75} e della luminanza del cruscotto L_{cru75}**

Queste 2 grandezze sono definite dalla formula (6) in cui L_{seq} è sostituito da L_{seq75} .

APPENDICE F Varianti rispetto all'edizione precedente (informativa)

La revisione della norma UNI 11095:2003 ha permesso di dare al progettista illuminotecnico di gallerie uno strumento più preciso, adeguandolo allo stato dell'arte, con particolare attenzione al risparmio energetico.

Punti particolarmente significativi.

UNI 11095:2003	UNI 11095:20XX
Velocità di progetto illuminotecnico	
Concetto generico di velocità, senza distinzione tra distanza di visibilità per l'arresto e distanza di arresto.	Per le gallerie esistenti la velocità di progetto illuminotecnico è riferita al limite di velocità, aumentata di 10 km/h, in conformità al Decreto Ministeriale 14 settembre 2005 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Norme tecniche per le costruzioni"
Uniformità trasversale	
Non considerata.	Uniformità atta a bilanciare i valori di luminanza in sezioni trasversali della galleria, particolarmente utile nell'illuminazione di rinforzo.
Luminanza di entrata	
Formula di calcolo esplicitata.	Formula di calcolo abbreviata con l'introduzione di un fattore c che compendia tutti i parametri presenti nella versione esplicitata.
Eliminato il calcolo di q_c	
Il calcolo iterativo del coefficiente di qualità del contrasto q_c si è dimostrato poco influente sui risultati finali, in rapporto alle incertezze di misura delle luminanze esterne.	Eliminato il calcolo iterativo; mantenuti però in modo implicito i vecchi valori di q_c nella formula (2). Per gli impianti di tipo controflusso il fattore c è inoltre stato aumentato del 10% per compensare i maggiori valori del Tl ottenuti con questo tipo di impianto.
Lunghezza della zona di transizione	
Era ammessa la troncatura di 2 s della parte terminale della zona di transizione.	Eliminata qualsiasi troncatura.
Luminanza della zona interna	
Riferimento alla UNI 10439.	Richiamata la necessità di un'analisi del rischio secondo la procedura della norma UNI 11248 per la determinazione della luminanza della zona interna.

<i>Corsie di emergenza, corsie riservate, marciapiedi, banchine, ecc.</i>	
Superfici non considerate.	Introdotte prescrizioni anche per queste superfici.
<i>Possibilità di rinforzi mirati nelle gallerie a doppio senso di marcia</i>	
Non contemplata.	In alcuni tipi di galleria a doppio senso di marcia è possibile limitare i rinforzi alle sole corsie unidirezionali. Questa prescrizione si conforma alla necessità di contenere i consumi energetici.
<i>Uniformità generali e longitudinali di luminanza</i>	
$U_0 \geq 0,4$ $U_1 \geq 0,6$	U_0 ed $U_t \geq 0,50$ sulla carreggiata U_0 ed $U_t \geq 0,40$ su tutte le altre superfici $U_1 \geq 0,70$ sulla carreggiata $U_1 \geq 0,60$ su tutte le altre superfici.
<i>Limitazione dell'abbagliamento</i>	
$TI \leq 10\%$ nella zona interna ed in quella immediatamente esterna. $TI \leq 15\%$ in tutte le altre zone.	$TI \leq 10\%$ nelle zone a luminanza costante. $TI \leq 20\%$ nelle zone a luminanza variabile.
<i>Limitazione dello sfarfallamento</i>	
Limitazione tra 4 ed 11 Hz.	Non più prescritto in quanto dimostratosi poco importante per la sicurezza e molto limitativo nelle scelte progettuali.
<i>Risparmio energetico</i>	
Non trattato.	Trattato con particolare attenzione tramite prescrizioni e suggerimenti mirati.
<i>Visite in loco per gallerie esistenti o di nuova costruzione</i>	
Consigliate.	Prescritte, con misurazioni delle luminanze ambientali e fotografie delle entrate.
<i>Misurazioni accurate delle caratteristiche fotometriche di apparecchi e manti</i>	
Non previste.	Consigliate misurazioni di: <ul style="list-style-type: none"> ripartizioni delle intensità luminose degli apparecchi di illuminazione; coefficienti ridotti di luminanza in sito o in laboratorio, oppure riduzione del coefficiente medio di riflessione del manto di riferimento C2.
<i>Riduzione del coefficiente medio di riflessione del manto di riferimento C2</i>	
$Q_0 = 0,07$	$Q_0 = 0,056$ se no sono effettuate misurazioni specifiche.
<i>Distanza di arresto</i>	
Grafici soli	Grafici + prospetti dei valori ricavati dai coefficienti di aderenza del D.M. 6792 del 5/11/2001.

Metodo di calcolo	
Con osservatore fisso.	Con osservatore fisso o in alternativa con osservatore mobile.
Presentazione dei risultati dei calcoli	
Non precisata.	Con grafici validati da tabelle numeriche, particolarmente per l'illuminazione di rinforzo.
Reticoli di calcolo	
In buona parte lasciati all'iniziativa del progettista.	Ridefinita struttura e posizione in funzione del metodo di calcolo scelto.
Calcolo e verifica del TI	
Non precisati.	Calcolo imposto con procedura definita. Richiesta al collaudo la verifica del TI.
Verifiche	
Prescrizioni generiche.	Suddivise in: <ul style="list-style-type: none"> • verifiche di conformità al progetto (verifiche secondo i calcoli se certi); • verifiche di conformità alla norma; • verifiche periodiche.
Comportamento in caso di non conformità dell'impianto	
Non precisato.	Descrizione dettagliata per individuare le responsabilità.
Verifiche degli illuminamenti	
Fondamentali.	Secondarie. L'impianto è conforme solo se le luminanze riscontrate, le relative uniformità ed il valore del TI corrispondono alle prescrizioni della norma.
Luminanze di velo	
Calcolo sulla base di valori convenzionali.	Calcolo a seguito di misure accurate dei parametri fondamentali.
Distanza di visibilità meteorologica	
Prospetto basato su caratteristiche qualitative dell'atmosfera.	Misurazioni accurate. Prospetto basato sulle quote altimetriche della galleria.

Copyright

Riproduzione vietata. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il consenso scritto dell'UNI.