

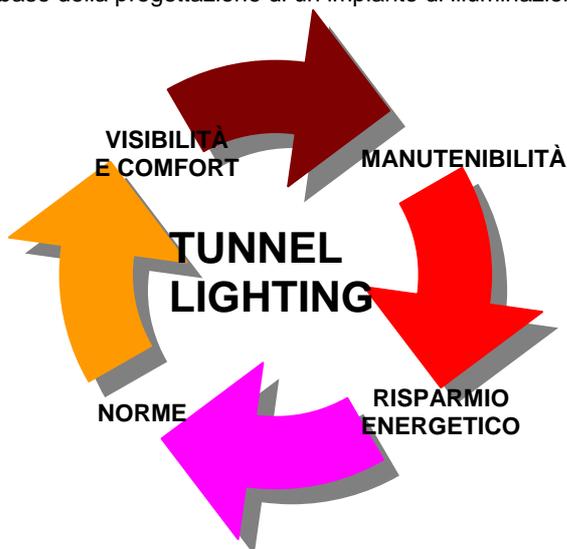
REGOLAZIONE DEL FLUSSO LUMINOSO, RISPARMIO ENERGETICO, MANUTENZIONE E LA NORMA UNI 11095

S. Giua^(*)

1 Introduzione

Illuminare una galleria stradale garantendo la sicurezza del traffico è una questione di non facile soluzione. Da moltissimi anni la soluzione a questo problema trova nel mondo applicazioni e riferimenti diversi che alcuni suggerimenti della CIE pubblicati nel 1990 hanno tentato di riordinare. I conducenti degli autoveicoli provengono dall'ambiente esterno con un'illuminazione naturale che può essere molto elevata, anche 100'000lux orizzontali, e di conseguenza la galleria appare loro come un "buco nero". Essi devono riuscire a percepire la presenza di un ostacolo o di una situazione pericolosa, all'interno della galleria nella zona immediatamente dopo l'imbocco, senza nessuna esitazione. Come se ciò non bastasse, le luminanze dell'ambiente esterno intorno al fornice, che sono spesso molto elevate, generano una forma di abbagliamento che riduce ulteriormente la visibilità. Per minimizzare i costi di installazione e di gestione energetica dell'impianto di illuminazione, le raccomandazioni e le consuetudini in uso, per la realizzazione degli impianti di illuminazione di tutti i paesi europei, prevedono di modulare la luminanza stradale in funzione sia di quella esterna, sia del flusso di traffico.

Figura 1: Principi base della progettazione di un impianto di illuminazione di una galleria



^(*) S. Giua, Direttore Tecnico GIUA&Partners srl

Di conseguenza ogni impianto di illuminazione di galleria stradale genera una serie di problematiche connesse ad alcuni importanti parametri: la **visibilità** ed il **comfort** dell'utente e quindi la sicurezza della circolazione; le problematiche relative alla **manutenzione** e quindi al mantenimento del livello prestazionale nel tempo; il **risparmio energetico** e quindi la riduzione del costo d'uso del sistema; il rispetto delle **norme** cogenti in modo da tutelare la responsabilità del gestore.

Sotto l'aspetto normativo, l'Italia, rispetto agli altri Paesi della UE, ha da sempre percorso i tempi favorendo l'applicazione della pubblicazione CIE 88/90 dapprima attraverso la consuetudine dei progettisti, poi attraverso l'adozione ufficiale della pubblicazione stessa attraverso il DM del 5 giugno 2001 "Sicurezza nelle gallerie stradali" (GURI n. 217 del 18 settembre 2001) ed in ultimo con la pubblicazione della Norma UNI 11095 "Illuminazione delle gallerie", pubblicata dopo oltre due anni di lavori nel dicembre 2003 ed in fase di recepimento con un DM *ad hoc*. In ultimo anche la CIE ha pubblicato recentissimamente un aggiornamento della pubblicazione CIE 88, alla quale peraltro la norma UNI si è ispirata fin dalle prime riunioni di lavoro in commissione.

Questo evolvere normativo è il risultato che si è ottenuto attraverso la verifica sperimentale ed operativa sviluppata sugli impianti realizzati nel corso degli ultimi quindici anni, ed ha permesso un progressivo passaggio dal carattere totalmente empirico della CIE88/90 alla rigorosità scientifica sia della norma UNI che della CIE 88/2004.

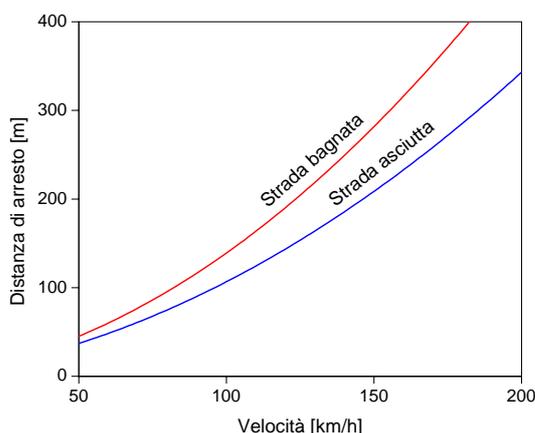
2 I concetti base della norma

Per meglio comprendere la nostra posizione in merito agli aspetti delineati nella Figura 1, conviene riassumere il contenuto delle norme per permettere una migliore comprensione sui vantaggi derivanti dell'applicazione del principio esposto.

Sia la CIE che la UNI identificano le condizioni principali di sicurezza nella zona di entrata di una galleria con la visibilità di un ostacolo tipo, costituito da un cubo con spigoli di 20 cm e facce diffondenti con fattore di riflessione pari a 0.10: si tratta, a tutti gli effetti, di un oggetto molto scuro che si ritiene rappresentativo del più piccolo ostacolo potenzialmente pericoloso che potrebbe trovarsi sul piano stradale. In particolare, se un ostacolo di questo tipo fosse presente nella sezione di entrata di una galleria, per evitare incidenti, esso dovrebbe essere visto da una distanza tale da detto punto, in modo da permettere al conducente di arrestare il proprio autoveicolo in tempo utile.

Come visibile in Figura 2, la distanza di arresto effettiva è molto maggiore di quella riportata sulle riviste specializzate nel settore degli autoveicoli: infatti, non solo in realtà pneumatici e strade non sono quasi mai nelle condizioni ottimali, ma bisogna tener conto dei tempi di reazione del guidatore medio, normalizzati in 1.5 secondi.

Figura 2: Distanze di arresto in funzione della velocità per strade con pendenza nulla

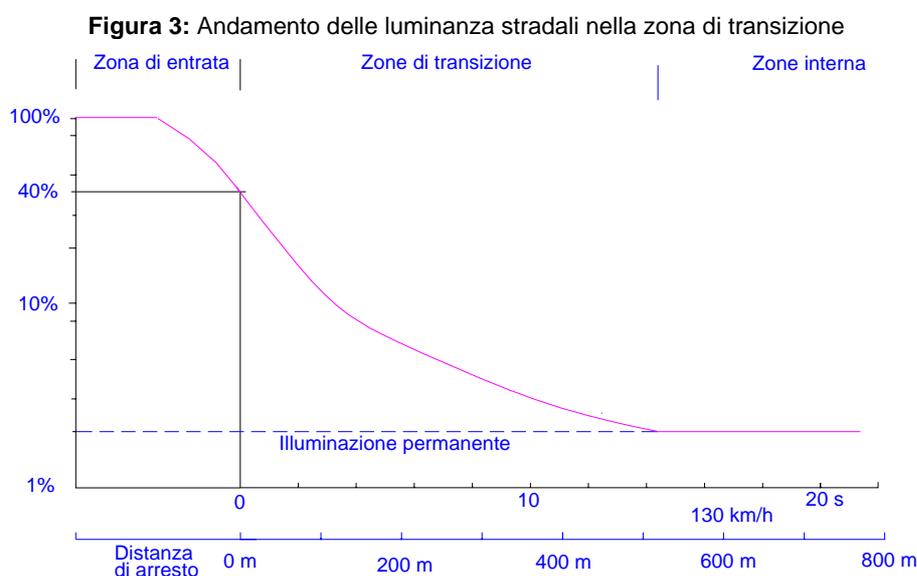


Inoltre, le norme considerano cosa il conducente vede dalla distanza di arresto entro il campo di visione $\pm 30^\circ$ orizzontalmente e $\pm 20^\circ$ verticalmente: è evidente che le luminanze del campo visivo sono completamente diverse per le velocità di approccio alla galleria diverse.

L'effetto della luminanza ambientale è la formazione di una luminanza cosiddetta di velo, che riduce il contrasto di un ostacolo e quindi anche la sua visibilità. Secondo le norme, la luminanza stradale che l'impianto di illuminazione deve fornire all'entrata della galleria, per rendere visibile un eventuale ostacolo, deve essere proporzionale alla luminanza di velo, secondo il tipo di impianto che si desidera realizzare. La luminanza stradale deve scendere avanzando verso l'interno della galleria in quanto

l'occhio pian piano si adatta all'oscurità e deve raggiungere il valore minimo nella zona interna. Il valore della luminanza della zona interna della galleria è certamente l'elemento di differenziazione tra la nuova CIE 88 e la UNI 11095: mentre la prima prescrive valori molto ridotti rispetto all'impostazione della vecchia CIE, ma senza fissare un riferimento oggettivo, la norma italiana pone un riferimento certo ed inequivocabile al valore minimo consigliato: infatti prescrive una luminanza pari a 1.5 o 2 volte quella prevista per la strada di accesso valutata secondo i dettami della norma UNI 10439. Di fatto pone in relazione la zona interna o di illuminazione permanente con i valori che sono riconosciuti validi per le zone all'aperto in situazione notturna. Ciò consente peraltro di evitare, durante le ore notturne, il verificarsi dell'effetto contrario che si ha di giorno: uscendo dalla galleria si cade nel buio con i pericoli conseguenti che è facile considerare.

Per passare dalla luminanza di entrata a quella interna le norme prevedono una lunga zona di transizione in cui la luminanza scende secondo la curva normalizzata riportata in Figura 3. Come si vede, alla zona di entrata, con una luminanza prima costante e poi decrescente fino al 40% del valore massimo a una distanza dalla sezione di entrata pari alla distanza di arresto, segue una zona di adattamento, la cui lunghezza è valutata in secondi di percorrenza, e ciò perché l'occhio impiega sempre lo stesso tempo a adattarsi al buio: la scala in lunghezze deve essere valutata in base alla velocità massima, che nel caso di Figura 3 è di 130 km/h.



La norma UNI richiede anche che in ogni zona della galleria la luminanza delle pareti sia pari ad almeno il 60% della luminanza del piano stradale e ciò per imprimere meglio all'utente un senso di sicurezza in un ambiente considerato ostile.

Altra caratteristica da rispettare è l'uniformità globale U_0 , valutata dividendo la luminanza minima tra un apparecchio e il successivo per la luminanza media nello stesso tratto, e l'uniformità longitudinale U_l , ottenuta dividendo la luminanza minima lungo un asse dello stesso tratto di galleria per la luminanza massima. Le prescrizioni normative prevedono $U_0 \geq 0,4$ e $U_l \geq 0,6$.

L'impianto di illuminazione può essere realizzato con apparecchi di illuminazione di tipo simmetrico, con ugual emissione nel senso del moto ed in quello contrario, oppure con apparecchi così detti "controflusso", che emettono prevalentemente luce in direzione contraria a quella del moto. In questo secondo modo si migliora il contrasto dell'ostacolo di riferimento ottenendo una buona visibilità con luminanze stradali inferiori a quelle del caso precedente, sia pure a spese di un maggiore abbagliamento. Tali tipologie di apparecchi penalizzano però il rispetto delle uniformità richieste sulle pareti e solo negli ultimi tempi si cominciano a trovare sul mercato ottimi corpi illuminanti del tipo a controflusso diffondenti non concentranti che permettono anche buoni risultati sulle pareti.

L'impianto deve assicurare la luminanza stradale con il soleggiamento esterno massimo, normalmente intorno alle ore 12 solari in estate e/o in inverno con neve e sole. Quando il livello di illuminazione diurna scende nel corso del giorno o delle stagioni, deve proporzionalmente scendere anche la luminanza fornita dall'impianto.

3 Regolazione del flusso luminoso

L'andamento delle luminanze da realizzare nella zona di ingresso ed in quelle immediatamente successive, così come quello della zona interna è di per sé abbastanza complesso e può essere realizzato in diversi modi.

In Svizzera, ad esempio, l'andamento della curva di adattamento è riprodotto mediante uno studio particolareggiato sia delle interdistanze tra i corpi illuminanti che delle potenze delle lampade in gioco, realizzando intervalli variabili tra apparecchio ed apparecchio. L'accensione e lo spegnimento di alcuni circuiti consente poi, di conseguenza, di realizzare dei gradini a valori ridotti per adattarsi alle condizioni esterne.

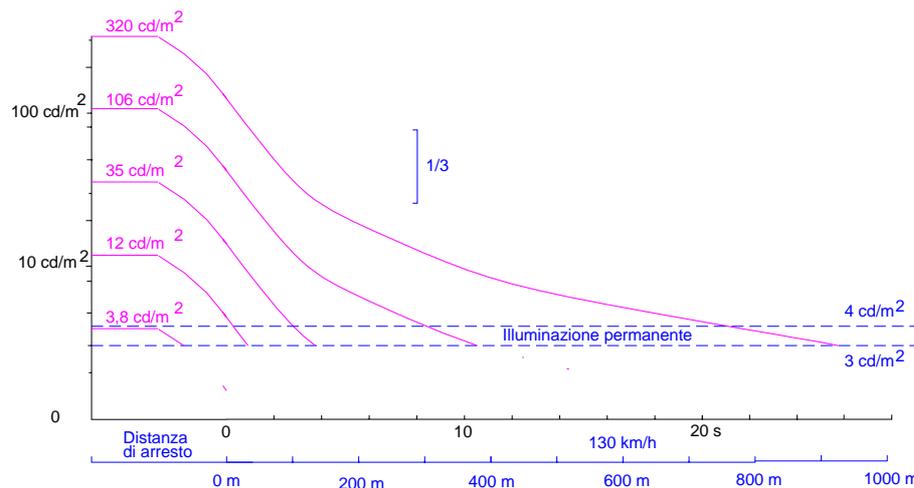
In Italia, invece, si preferisce realizzare impianti nei quali si hanno tratti in cui gli apparecchi vengono installati a passo costante e la differenziazione tra i livelli è ottenuta variando zona per zona il passo di installazione e/o la potenza della lampada. La variazione dei livelli illuminotecnici interni rispetto a quelli esterni è ottenuta variando sia l'accensione e lo spegnimento di alcuni circuiti in relazione alla natura dell'impianto e variando la tensione di alimentazione delle lampade mediante l'utilizzo dei cosiddetti variatori di flusso (o di tensione). Questi apparati variando la tensione di alimentazione alla lampada fanno sì che la stessa abbia una emissione luminosa diversa e quindi realizzi un livello illuminotecnico diverso. Per poter gestire il livello di tensione sul circuito di alimentazione, la tensione stessa deve poter essere controllata e quindi stabilizzata dallo stesso apparato. Tale controllo genera inoltre altri vantaggi quali la riduzione dello stress sugli apparati di accensione e di conseguenza sulla lampada generando, di conseguenza, un allungamento della vita media della lampada, con ulteriori vantaggi non solo sui costi d'uso, ma anche sui costi di manutenzione e di esercizio.

Le lampade che meglio si prestano ad un tipo di regolazione come quello descritto sono le sodio alta pressione, pur se ovviamente hanno un limite inferiore sotto il quale, ovviamente, la tensione non può scendere altrimenti avviene lo spegnimento. Le lampade fluorescenti possono anch'esse essere regolate con i variatori di tensione, ma devono essere ovviamente equipaggiate con accenditori di tipo elettronico trimmerabile.

3.1 La regolazione delle zone di rinforzo

In assenza di regolatori, la diminuzione della luminanza stradale è ottenibile solo spegnendo un certo numero di apparecchi di illuminazione e realizzando così un certo numero di livelli fissi. Le norme peraltro richiedono che il rapporto fra le luminanze di un livello e di quello immediatamente inferiore non superi il rapporto di uno a tre. Per esempio, nel caso di una luminanza massima di $320\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ i livelli di illuminazione necessari per non superare il rapporto 1:3 scendendo fino alla luminanza della zona interna (nel caso dell'esempio supposta pari a $3\text{-}4\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$, sono indicati in Figura 4: qui la regolazione richiede 4 livelli di spegnimento e di conseguenza 4 circuiti elettrici con i relativi cavi e interruttori.

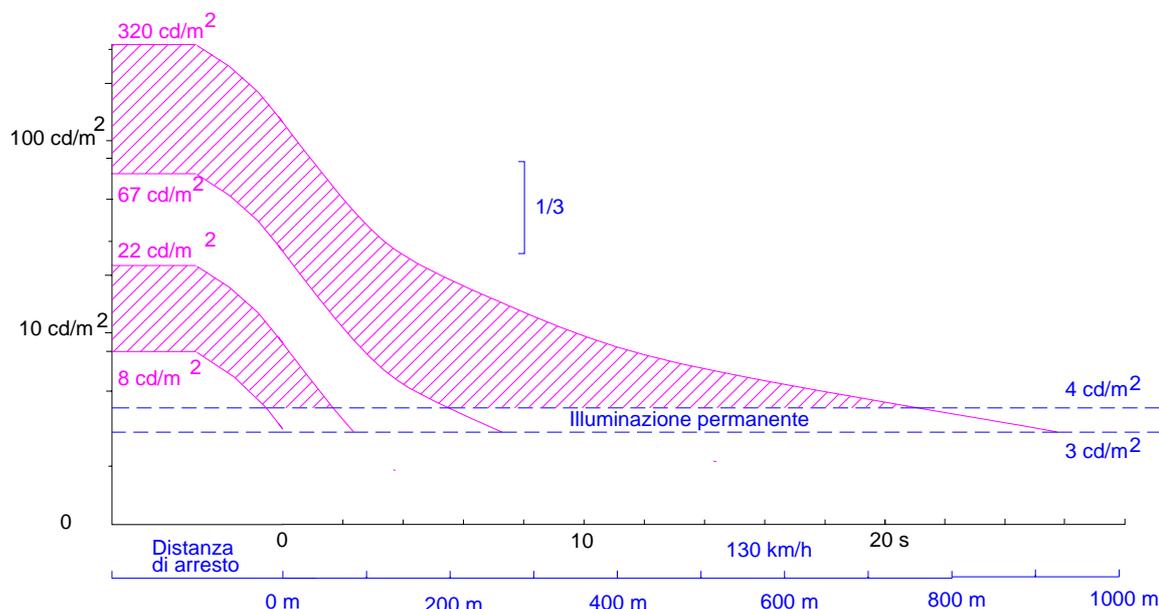
Figura 4: Livelli di luminanza per spegnimenti successivi in assenza di regolatori



Continuando però a spegnere apparecchi di illuminazione, si accresce la distanza tra quelli accesi e si può avere un'illuminazione a chiazze e quindi poco uniforme, scendendo sotto il minimo prescritto per la U_0 e la U_1 con gravi pericoli per il traffico: per evitare questi problemi, in assenza di regolatori, occorre aumentare il numero degli apparecchi, con conseguenti maggiori costi di installazione e di

esercizio. Viceversa, con l'impiego di regolatori si può ridurre la luminanza di un livello al 20% prima di passare a quello successivo spegnendo alcune lampade: in Figura 5 il campo di azione dei regolatori è messo in evidenza dal tratteggio.

Figura 5: Livelli di luminanza in presenza di regolatori/variatori di tensione



Dall'analisi di quanto esposto si può verificare che il numero dei livelli si riduce da 4 a 2 e si riducono della stessa entità anche i circuiti di alimentazione con un notevole risparmio economico. Inoltre, ci sono meno rischi di scendere sotto i valori di uniformità prescritti dalle norme, in quanto tra un livello e il successivo si devono spegnere meno apparecchi di illuminazione.

Da questo punto di vista risultano vantaggiosi i regolatori che permettono una regolazione limitata al 20% rispetto a quelli a trasformatore che consentono una riduzione al 50%. Infatti, questi ultimi nel caso in esame richiederebbero l'adozione di almeno 3 circuiti di rinforzo. Inoltre, agli accresciuti costi per cavi e quadri necessari per alimentare il maggior numero di circuiti di rinforzo occorre aggiungere il più elevato numero di apparecchi di illuminazione equipaggiati per lo più con lampade di potenza inferiore, con conseguenti maggiori costi non solo di installazione ma anche di gestione energetica, dato che diminuendo la potenza delle lampade si riduce anche la loro efficienza luminosa.

3.2 L'impianto di illuminazione permanente

La luminanza stradale scende lungo la galleria poiché l'occhio percorrendo le zone di entrata e di transizione si adatta a luminanze sempre più basse, fino ad arrivare al minimo di sicurezza nella zona interna, dove la UNI 11095 prescrive una luminanza pari a 1.5 o 2 volte quella prevista per la strada di accesso dalla UNI 10439 e dalla CEN 13201 (tabella 4) per gallerie a senso unico di marcia ed a doppio senso.

Nella zona interna l'illuminazione della galleria è assicurata dal circuito permanente, che però non è limitato a detta zona, ma corre lungo tutta la galleria anche laddove è installato il rinforzo. Esso ha il compito di garantire la luminanza stradale al livello minimo di sicurezza lungo tutta la galleria quando i circuiti di rinforzo sono spenti: di notte, all'alba o al tramonto, oppure di giorno con cielo coperto. Viceversa, in condizioni di sole esterno il ruolo specifico del circuito permanente è assicurare la luminanza stradale della zona interna (Figura 3 e Figura 4).

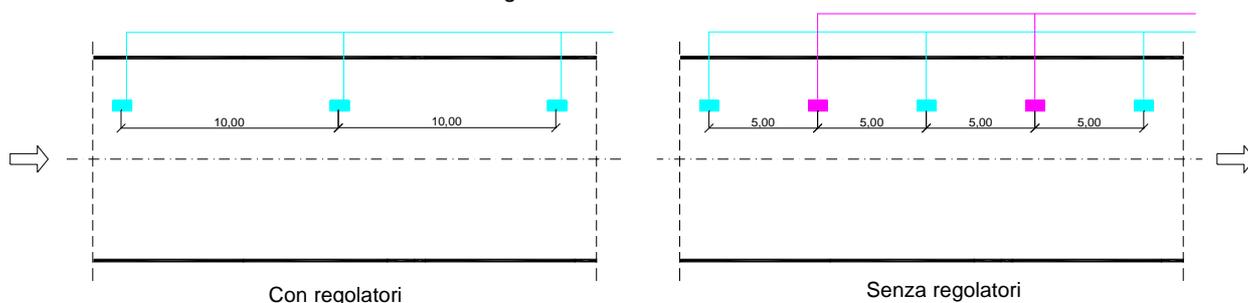
Ma la luminanza assicurata dal circuito permanente non è sempre la stessa. Come visto in precedenza, secondo la UNI 11095, la luminanza della zona interna deve essere al minimo 1.5 o 2 volte quella della UNI 10439 per la strada di accesso, rispettivamente per gallerie a senso unico di marcia ed a doppio senso. Ciò è vero se il flusso di traffico orario è al livello massimo previsto per quel tipo di strada: quando il flusso di traffico scende al 50% e al 25% di detto valore, l'indice della categoria illuminotecnica viene declassato rispettivamente di 1 e 2 unità. In pratica, in dette condizioni la luminanza stradale si riduce a circa il 75% ed al 50% del valore prescritto per quella classe di strada, con un considerevole risparmio energetico. Inoltre, secondo la UNI 11095 in condizioni notturne la luminanza stradale nell'intera galleria può scendere a $1\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ od alla luminanza esistente nella strada di accesso, qualora questa sia illuminata.

Tuttavia la condizione più restrittiva per l'impianto di illuminazione permanente deriva dalle prescrizioni sulla uniformità della luminanza stradale, con una conseguente interdistanza tra gli apparecchi di illuminazione di non più di 10÷12m, dovuta alla necessità di garantire l'uniformità della luminanza con un'altezza degli apparecchi di illuminazione non superiore a 5÷6m. Nessun problema, invece, per i livelli di luminanza, che con questa interdistanza sono assicurati con una lampada a vapore di sodio ad alta pressione di potenza limitata in ogni apparecchio.

Per parzializzare l'impianto permanente ai livelli di luminanza di cui sopra, con i sistemi tradizionali si deve spegnere almeno un apparecchio ogni due, ma così facendo occorre installare un apparecchio di illuminazione ogni 5÷6m, in modo che spegnendone uno ogni due l'interdistanza con l'impianto parzializzato non salga oltre i 10÷12m penalizzando l'uniformità: in Figura 6 è schematizzato un caso tipico di illuminazione permanente realizzato con una fila di apparecchi di illuminazione al di sopra della corsia di sorpasso per una galleria a senso unico con due corsie di marcia, ma la situazione non cambierebbe con due file di apparecchi di illuminazione per le gallerie a tre corsie.

Viceversa, adottando i regolatori di tensione si può parzializzare l'impianto permanente con interdistanze di 10÷12m. In questo modo si dimezza il numero di apparecchi di illuminazione e dei circuiti di alimentazione, con notevole risparmio nei costi sia di installazione sia di gestione: infatti, le lampade di un impianto con interdistanze di 10÷12m emettono un flusso luminoso circa doppio rispetto a quelle di un impianto con interdistanze di 5÷6m, con un maggior consumo energetico vista la minore efficienza luminosa delle lampade di potenza inferiore, anche minore di 100W, necessarie in quest'ultimo caso.

Figura 6: Caso tipico di impianto di illuminazione permanente realizzato con e senza regolatori di flusso luminoso.



4 CONCLUSIONI

L'impiego dei regolatori di flusso luminoso si rivela estremamente utile negli impianti di illuminazione delle gallerie stradali, in quanto consente di:

- rispettare i dettami delle **norme** in modo più aderente alle richieste formulate dalla norma stessa in termini di livelli illuminotecnici;
- favorire il **comfort** e la **visibilità** nelle zone di ingresso favorendo un miglior adeguamento del sistema di illuminazione alle esigenze del momento, rispettando sia i livelli illuminotecnici sia le uniformità richieste;
- di ampliare i tempi di intervento di **manutenzione** grazie alla maggior vita conferita alle lampade, a maggior ragione nel caso di utilizzo di lampade HPS del tipo 4Y;
- di ridurre il numero dei circuiti di alimentazione e degli apparecchi di illuminazione sia nelle zone di rinforzo sia dell'illuminazione permanente;
- di favorire il **risparmio energetico** grazie ad un miglior sfruttamento del sistema che diventa maggiormente flessibile erogando in ogni momento la massima prestazione richiesta.