

N. 1542/11 NOVEMBRE 2018

leStrade **LS**

Aeroporti Autostrade Ferrovie

Casa Editrice la fiaccola srl



AUTOSTRADE

Morandi, i tecnici a favore della riqualificazione

FERROVIE

Il cantiere enciclopedia della nuova Torino-Ceres

GALLERIE

Brennero, una grande opera che viaggia a pieno regime



 **Lombardi**

Corretta illuminazione sorgente di sicurezza

L'OTTIMALE ILLUMINAZIONE COME FATTORE CRUCIALE PER MIGLIORARE GLI STANDARD DI SICUREZZA IN "LUOGHI INFRASTRUTTURALI" NOTORIAMENTE CRITICI COME LE GALLERIE STRADALI, TEATRO, NEGLI ULTIMI ANNI, DI UN NUOVO AUMENTO DELLA SINISTROSITÀ. APPROFONDIAMO IL TEMA CON GLI AUTORI DI QUESTO ARTICOLO, CHE ILLUSTRANO ANCHE PRO E CONTRO DELLE PIÙ DIFFUSE TIPOLOGIE DI IMPIANTI.



2. Schematizzazione della zona dove si verificano gli incidenti

3. Veicoli coinvolti in incidenti in galleria

4. Veicoli isolati coinvolti in incidenti in galleria

Le gallerie sono ambienti molto particolari e unici, che sono esposti a molteplici fattori, tra i quali smog, umidità, temperature elevate e forte corrosione, e rappresentano uno dei luoghi più pericolosi per la circolazione stradale, pertanto dovrebbero essere oggetto della maggior attenzione e messa in sicurezza, con monitoraggi continui. Un'adeguata illuminazione dei tratti in tunnel, in molti casi, rappresenta un efficace provvedimento ai fini del miglioramento della sicurezza in quanto la cattiva percezione del-

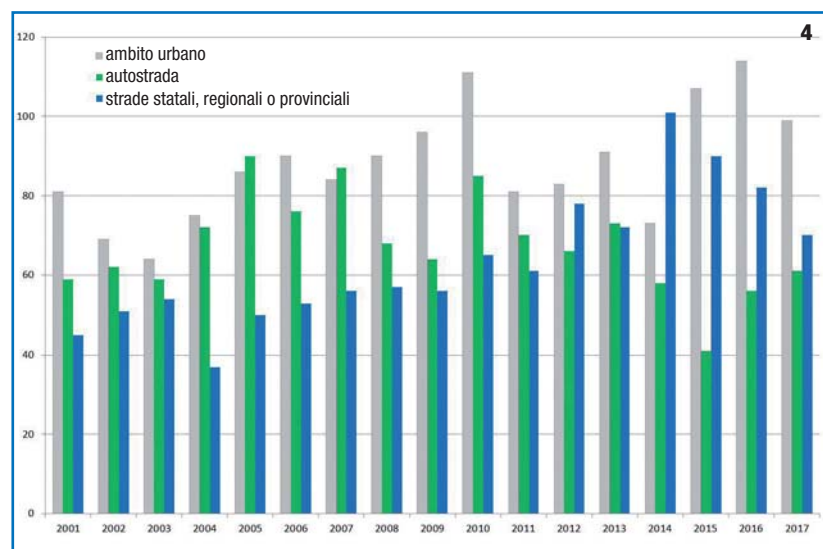
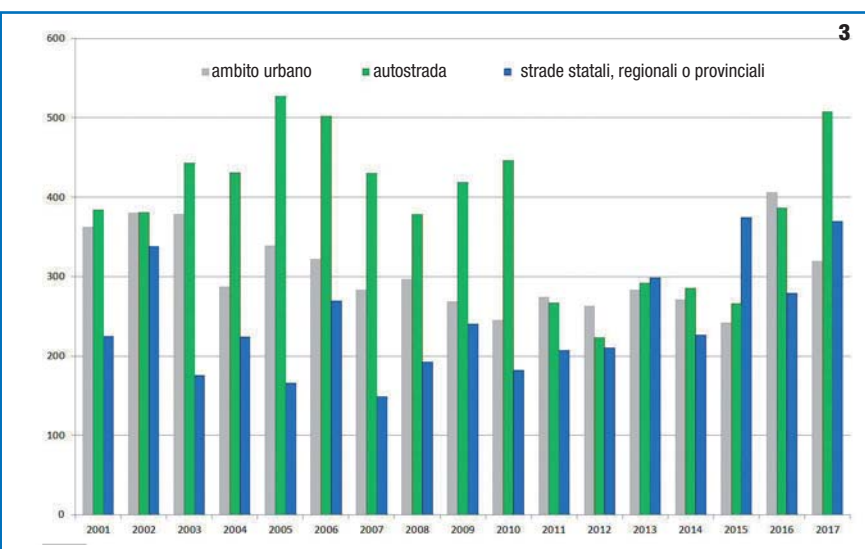
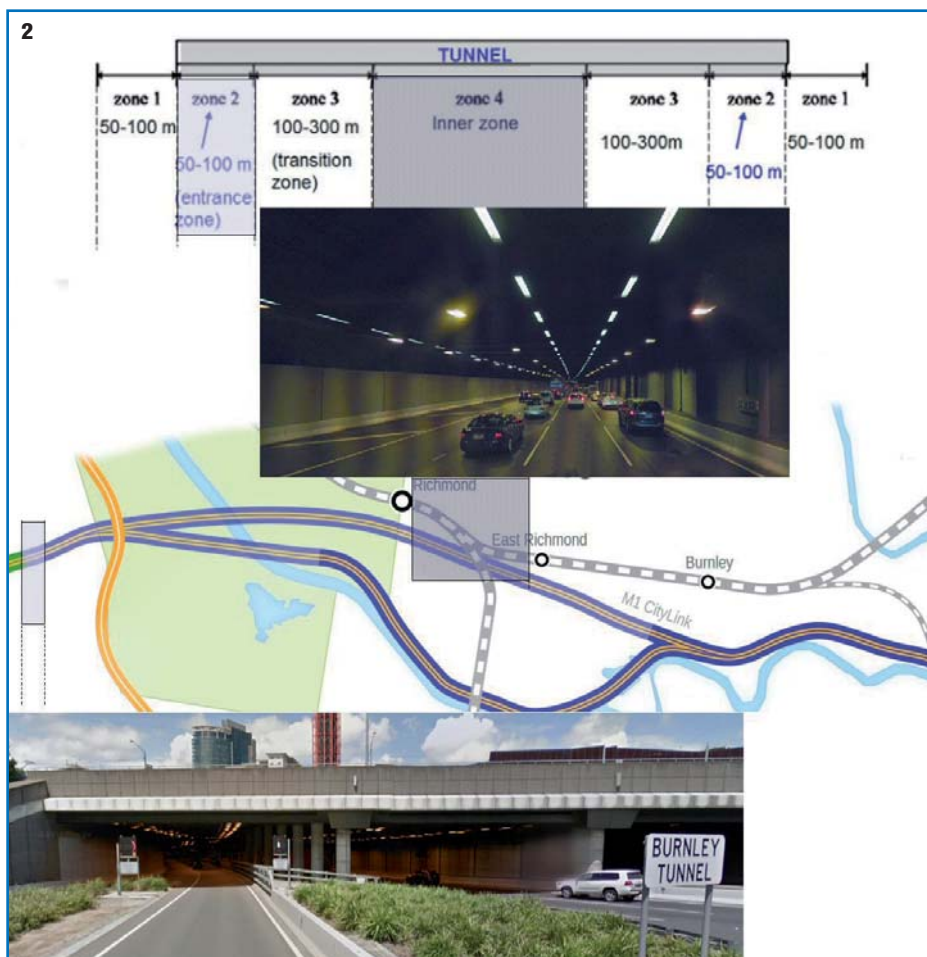
la strada rappresenta una delle principali cause d'incidente. L'analisi puntuale - tratta per tratta - elaborata su dati Istat, evidenzia una correlazione tra incidentalità e tratti in galleria, forse imputabile alla modificazione improvvisa della luminosità. Tratte non illuminate in modo adeguato rappresentano un grande pericolo per i conducenti. L'Italia è uno dei Paesi con il maggior numero di tunnel e gallerie che presentano caratteristiche molto diverse: dalla scarsa illuminazione all'assenza quasi totale, dalla mancata manutenzione/sostituzione di lampade malfunzionanti alla presenza di un sistema di illuminazione troppo abbagliante o alla non uniformità della luce.

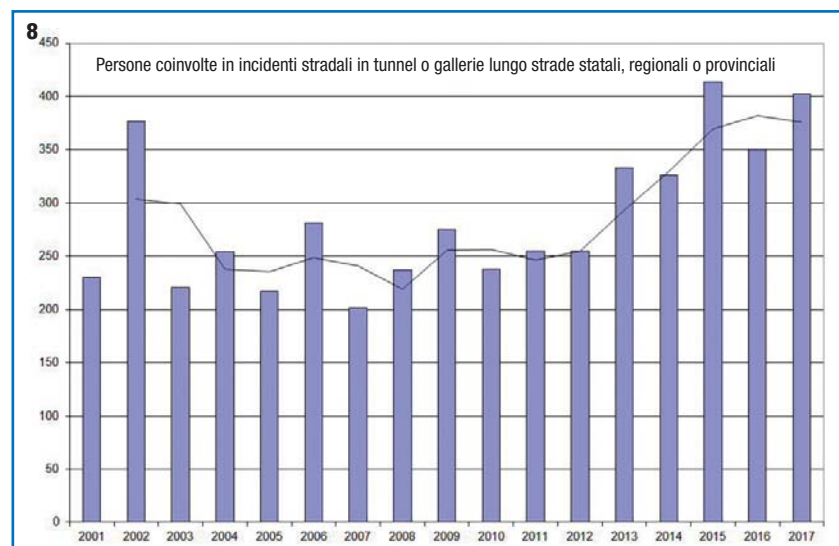
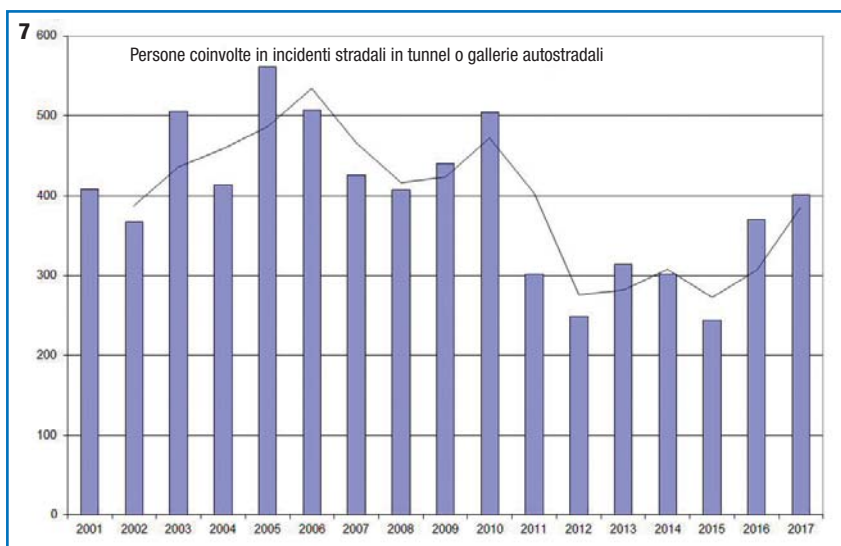
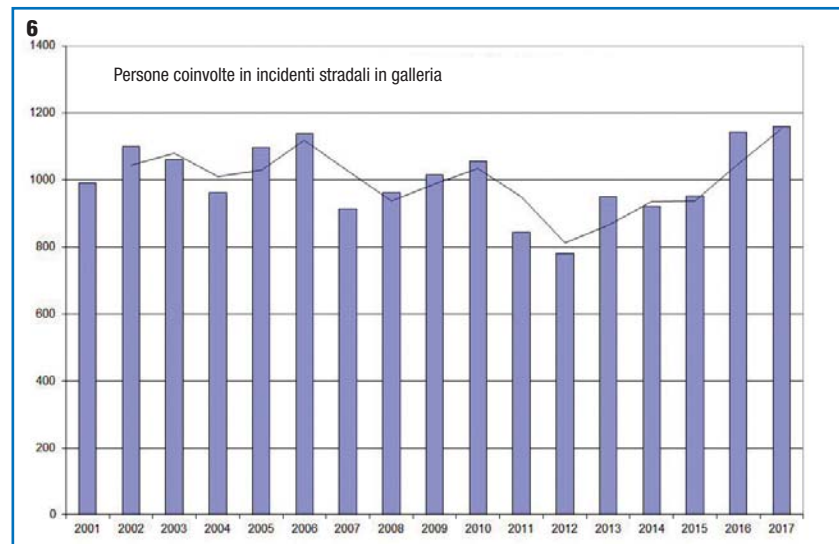
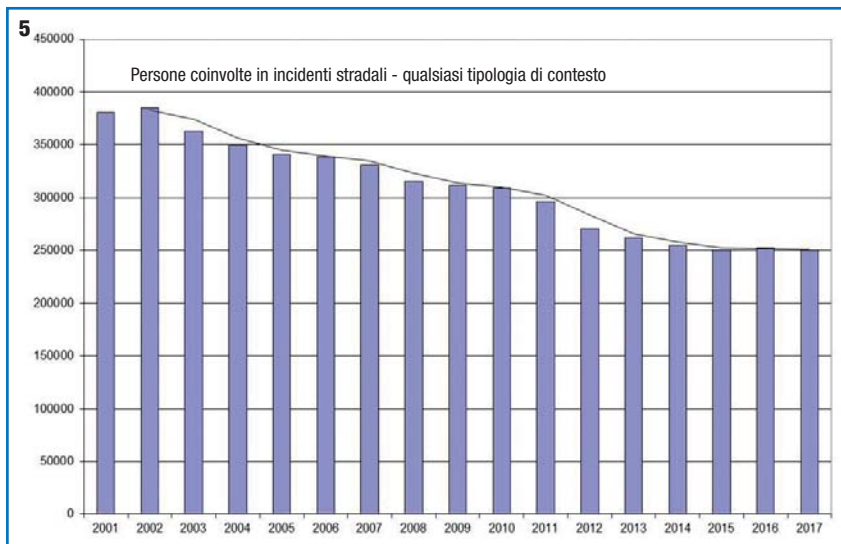
L'Europa, come è noto, richiede requisiti minimi di sicurezza per i tunnel superiori ai 500 m nella rete Tern, Trans-european road network ma, ad oggi, solo il 20% dei tunnel sembra essere stato adeguato¹. Il Ministero Infrastrutture e Trasporti prevede che al 30 aprile 2019, scadenza per mettere a norma tali gallerie, sarà in regola solo un terzo dei tunnel. Diversi studi elaborati in ambito internazionale concordano sulla pericolosità delle tratte iniziali e finali per gallerie poco illuminate e picchi di incidentalità nelle zone centrali per quelle più illuminate, attribuendo come fattori causali primari la modificazione improvvisa della luminosità o un potenziale abbagliamento. L'analisi dei dati disponibili, evidenzia un incremento degli incidenti in galleria.

L'importanza del comfort visivo

L'occhio è un organo sensorio complesso che converte l'energia luminosa in segnali elettrici che vengono elaborati dal cervello. La retina rappresenta la parte fotosensibile connessa con le terminazioni del nervo ottico, quindi direttamente collegata con il cervello e con influenza su tutto il corpo umano e, a seconda degli stimoli, può anche provocare disfunzioni comportamentali. Il comfort visivo rappresenta un valore fondamentale e influenza la capacità di un individuo di percepire piccoli dettagli a una data distanza, in termini di acuità visiva e velocità di percezione.

1. Atti della Conferenza Internazionale "La Sicurezza nelle Gallerie. Le misure gestionali nella Direttiva Europea", Roma, Auditorium ANCE, 16 febbraio 2017.

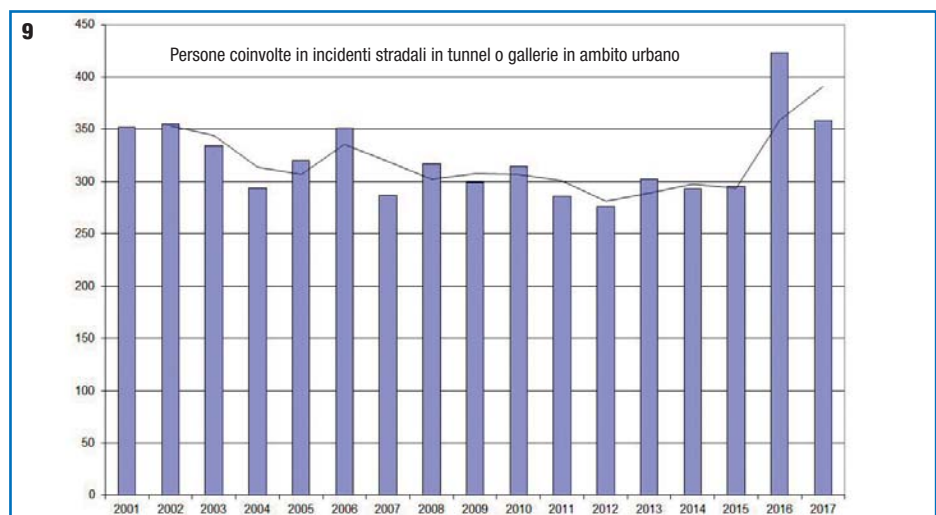




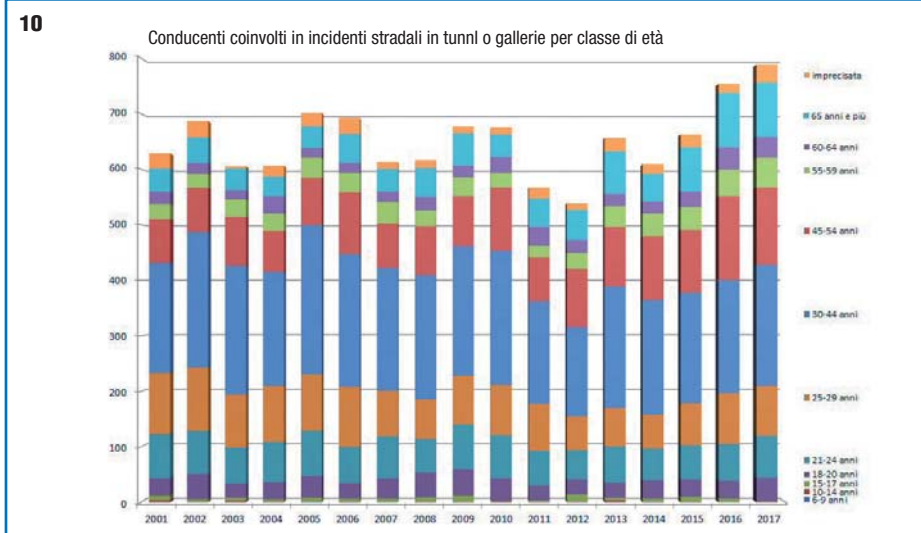
Il comfort visivo è legato a molti fattori correlati a:

- un adeguato livello e una sufficiente uniformità di illuminamento;
- una buona distribuzione delle luminanze;
- una corretta direzionalità della luce;
- una buona resa cromatica delle sorgenti e degli ambienti; fino all'assenza di abbagliamento e sfarfallio.

L'apparato visivo è soggetto ad affaticarsi di più quanto maggiori sono le differenze di luminanza, inoltre contrasti elevati possono provocare abbagliamento, allo stesso modo l'illuminamento non deve presentare eccessive disuniformità (nel passaggio tra zone a diverso illuminamento si possono determinare abbagliamenti e difficoltà di adattamento visivo). Se l'illuminazione è troppo direzionale si generano ombre nette, così che risultano illuminate mentre aree limitrofe sono in penombra rendendo difficile l'identificazione di ostacoli. Lo sfarfallio può provocare malessere, mal di testa, danno visivo e, in soggetti preposti, attacchi epilettici. Il fenomeno dell'abbagliamento viene classificato in abbagliamento molesto oppure delibitante, determinando la mancata percezione dei contorni e riduce il contrasto di luminanza tra gli oggetti e lo sfondo (luminanza velante-*Equivalent Veiling Luminance*).



Uno dei principali problemi del guidatore all'ingresso in galleria é l'istantanea modificazione dell'acuità visiva, e questo succede in qualsiasi momento del giorno dato che vi è sempre un cambiamento di luminosità. In particolari condizioni di illuminazione la chiusura della pupilla può essere accentuata



5. Veicoli coinvolti in incidenti stradali 2001-2017: tutte le strade

6. Dati riguardanti le sole gallerie

7. Gallerie autostradali

8. Strade statali e provinciali

9. Ambito urbano

10. Conducenti coinvolti in incidenti in galleria suddivisi per classi di età

e ridurre bruscamente l'acuità visiva: questo può succedere sia se si passa da molta luce diurna a galleria sia durante le ore notturne per proteggere l'occhio da improvviso abbagliamento. Se l'illuminazione è eccessiva e a lampade molto ravvicinate si può eccitare la conduzione ottico-neuronale con un senso di fastidio che può provocare lacrimazione, stropicciamento oculare e cefalea per stimolazione nervosa. La soluzione ideale consiste nell'illuminazione diffusa ed omogenea e tale da non determinare abbagliamento né sfarfallio. Gli incidenti mortali in galleria rappresentano una percentuale significativa se si considera che in Italia - Paese che ha una percentuale elevatissima di gallerie nel contesto europeo e mondiale - l'estesa complessiva rappresenta soltanto una minima parte della rete. Soltanto il 14% degli incidenti in galleria si verifica in tratte non illuminate. Appare dunque evidente come la cattiva illuminazione possa abbagliare o mortificare la vista nella fase di ingresso e uscita.

Analisi dell'incidentalità in galleria

In assoluta controtendenza rispetto ai dati relativi all'intera rete stradale, gli incidenti in galleria non hanno registrato alcuna flessione e il dato appare ancora più significativo se si confrontano gli incidenti registrati nel periodo 2001-2017, analizzati per tipologia: quelli con veicoli isolati sono in costante crescita. Dal confronto tra i dati relativi alle persone coinvolte in incidenti stradali in ogni tipologia di strada e quelle coinvolte in incidenti stradali verificatisi in gallerie si evidenzia come il trend sia assai diverso e l'analisi dei dati per classi di età dei conducenti evidenzia una correlazione con una forse ridotta capacità visiva. In particolare si evidenzia come le classi di età maggiormente coinvolte negli incidenti in galleria sia quella maggiore ai 45 anni, con un forte aumento dei casi di conducenti sopra i 60 anni.

2. Codice Civile Art. 2054 "Circolazione di veicoli".

3. Cass. Civ. Sez. III, n. 2074/2002.

4. Il concessionario autostradale è responsabile dei sinistri cagionati da elementi (cerchioni, pneumatici, merci, distacco di materiale in galleria) persi e rimasti giacenti sulla carreggiata per periodo superiore a tre ore. Corte di Cassazione III Sez. Civ. Sentenza n. 783/13.

5. D.M. 14 settembre 2005, "Norme di illuminazione delle gallerie stradali", G.U. n. 295 del 20 Dicembre 2005.

La responsabilità normativa

L'ente proprietario della strada deve fare in modo che non si presentino situazioni di pericolo occulto, cioè non visibili e non prevedibili, casi quindi che possano dar luogo a "trabocchetti o insidie stradali". La giurisprudenza ritiene che affinché sia configurabile l'insidia stradale, quale figura sintomatica di colpa costruita in base ad una valutazione di normalità e tale da rendere l'Ente cui spetta la gestione e la manutenzione della strada, responsabile dei fatti lesivi ad essa attribuibili, debba essere provata l'esistenza congiunta di due presupposti:

- della non visibilità del pericolo;
- della non prevedibilità dello stesso.

La connotazione dell'insidia che assuma i due caratteri della "non visibilità oggettiva" e della "non prevedibilità oggettiva" comporta, inoltre, l'inapplicabilità del concorso di colpa² cosicché se il fatto è imputabile all'Ente proprietario della strada vi sarà un conseguente risarcimento integrale del danno. Se invece l'incidente è anche solo in parte riconducibile al danneggiato, quest'ultimo non avrà nessun diritto di natura risarcitoria. In giurisprudenza si sono ravvisati gli estremi dell'insidia nel caso di:

- segnaletica non visibile, tale da porre gli utenti nell'impossibilità di regolare conformemente la propria condotta di guida;
- impianti semaforici o corpi illuminanti difettosi³;
- assenza di cartelli stradali, sia perché rimossi da terzi sia perché non posizionati o erroneamente posti (si pensi alla segnaletica per i cantieri).
- mancata tempestiva rimozione di ingombri sulla carreggiata autostradale⁴.

Sussiste l'obbligo della manutenzione delle strade per l'Ente proprietario e ne discende la responsabilità in caso di omessa prevenzione e mancato impedimento del danno a terzi ai sensi dell'art. 2051 c.c. Il miglioramento dell'illuminazione aumenta la visibilità del tracciato da parte del conducente e quindi influisce direttamente sulla condotta di guida. Le statistiche relative ai numerosi incidenti in galleria devono essere attentamente osservate: le cause potrebbero essere relative a improvvisi distacchi materici oppure imputabili a un'insufficiente illuminazione⁵ e quindi al mancato rispetto di quanto prescritto dalla Norma UNI 11095/2003. Proprio questa potrebbe essere la motivazione dei molteplici incidenti e tamponamenti verificatisi per esempio in una importante galleria marchigiana di circa 280 m di lunghezza.

Tecnologie di illuminazione

L'illuminazione delle gallerie stradali rappresenta uno degli interventi più critici e ha un impatto diretto su comfort e sicurezza dei viaggiatori. I principali obiettivi di un impianto d'illuminazione in galleria possono essere così riassunti:

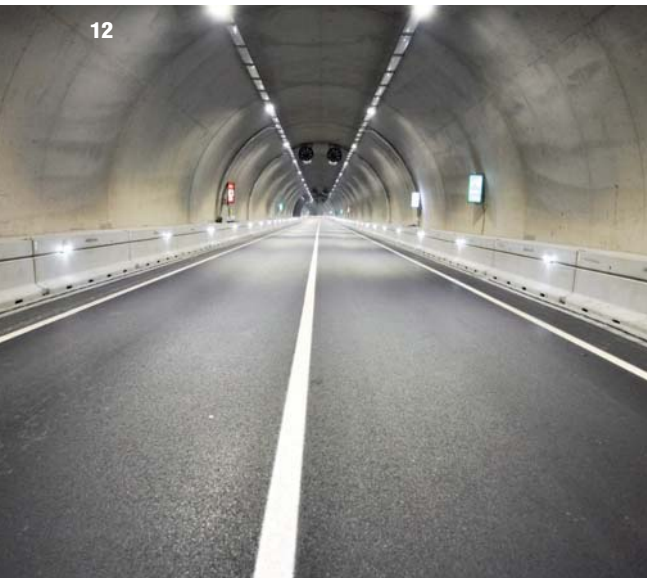
- l'impianto di illuminazione deve garantire al guidatore una buona visibilità sia di giorno che di notte;
- il guidatore, nell'approccio all'ingresso della galleria, deve percepire la variazione delle condizioni di guida senza sviluppare una sensazione di incertezza;
- l'impianto deve garantire l'assenza di ombre e di abbagliamento diretto o riflesso;
- dev'essere realizzata una buona illuminazione verticale per la percezione di eventuali ostacoli. In fase progettua-

11



- 11. Impianto SAP
- 12. Tecnologia Led
- 13. Galleria con lampade a induzione magnetica

12



13



le è molto importante definire il livello di luminanza esterna dovuto alla luce naturale in modo da poter stabilire i livelli che l'impianto d'illuminazione artificiale dovrà fornire nelle zone d'ingresso, di transizione e permanente. Nel corso degli anni nelle gallerie italiane sono state installate lampade con diverse tecnologie, tra queste al momento sono in uso i vapori di sodio e il Led, e iniziano a esserci le prime proposte con induzione magnetica, già utilizzata con successo in altri Paesi, dati gli sviluppi recenti che hanno innovato questa tecnologia ad elevata efficienza e sicurezza.

Tecnologia a vapori di sodio

La tecnologia a vapori di sodio, pur avendo un buon tipo di illuminazione, tende ad avere un rapido decadimento luminoso, pertanto varia molto velocemente e questo ha un im-

patto sulla visibilità, richiedendo inoltre molteplici interventi di manutenzione (spesso non eseguiti) oltre ad avere dei consumi molto elevati e a risultare tecnologicamente datata, ad esempio per quanto attiene a dimmerazione e telecontrollo. Per questi motivi l'applicazione di questa tipologia di lampade sta diminuendo, sostituita da altre tecnologie.

Soluzioni a Led

Negli ultimi 5 anni in molte gallerie Italiane è stata utilizzata con sempre maggiore frequenza la tecnologia Led. L'introduzione dei Led nelle gallerie sta avvenendo molto rapidamente, ma occorre fare attenzione a non sovrastimare i vantaggi che queste nuove sorgenti luminose propongono: sulla carta i valori sono circoscritti a test surreali e i processi divulgativi sono principalmente alimentati da logiche commerciali, prospettando molto spesso aspet-

TAB. 1 CONFRONTO TRA TECNOLOGIA A LED E AD INDUZIONE MAGNETICA*

TECNOLOGIA	LED	INDUZIONE MAGNETICA
Durata sorgente luminosa	50.000-100.000 ore (Ta 25°C)	70.000-110.000 ore (Ta -30+60°C)
Durata driver	10.000-23.000 ore	Fino a 300.000 ore
Durata sorgente luminosa dimmerata	Diminuisce in percentuale all'uso dimmer e favorisce il flickering	Può aumentare in percentuale all'uso dimmer
Consumo con dimmer	Il consumo non è lineare: 50% riduzione luce =20-25% riduzione consumo	Lineare: 50% riduzione luce= 50% riduzione consumi
Problemi frequenti accensioni/riaccensioni	Sì	No
Flickering	Presente	Assente
Abbagliamento	Presente: disabilitante e molesto	Assente
Rischio fotobiologico (IEC 62471)	Rischio RG1-3	RG0-Esente
Impatto temperatura ambiente	Sì, se si discosta dai 25°C Ta diminuisce durata vita	Nessun problema tra i -30° e +75° Ta
Cambio temp. colore	Temperatura colore instabile, tende a cambiare nel tempo, soprattutto per le temperature colore <4.000 K	Irrilevante sia ad alte che a basse temperature
Inquinamento luminoso	Molto forte anche a temperature colore <4.000K	Trascurabile, anche a 6.500 K
Sostituzione parti in caso di malfunzionamento	Quasi sempre va sostituito l'intero corpo luminoso, aumentando i costi di manutenzione e volumi rifiuti	Possono essere sostituite anche solo parti quali bulbo e/o ballast (questo anche in previsione di futuri upgrade delle tecnologie di controllo dinamico).
Resistenza in caso di fumo	Molto bassa	Elevata
Visibilità in caso di fumo	Molto bassa (emissione fascio di luce in monofrequenza)	Alta (emissione fascio di luce in multifrequenza)
Altre note	Soffre sbalzi tensione, polvere e alte temperature	Nessun problema con sbalzi tensione, polvere ed alte temperature

* I numeri riportati in tabella si riferiscono a modelli per illuminazione stradale e di tunnel, in reali condizioni di utilizzo, basati su prodotti di alta qualità per quanto riguarda entrambe i tipi di tecnologia.

tative non raggiungibili, per diverse ragioni tecniche. I Led vengono pilotati con una corrente costante, per mantenere uniformi i valori di luminosità e temperatura colore. La corrente di alimentazione incide direttamente sul flusso luminoso emesso: il valore nominale del flusso di uno specifico Led è fornito dal costruttore ed è quello misurato a una data temperatura ambiente (generalmente 25°C) alimentandolo per un tempo brevissimo, alla corrente nominale di riferimento. La motivazione sta nell'evitare il riscaldamento della giunzione del semiconduttore, il quale riscaldamento ridurrebbe il flusso emesso e quindi il valore misurato. Nella pratica, il valore di efficienza (lm/W) misurato non sarà mai ottenibile; in aggiunta, nel momento in cui è montato in un apparecchio, le sue prestazioni in termini di emissione cambiano drasticamente, soprattutto in ambienti come tunnel e gallerie ambiente particolarmente corrosivi (sali, polvere, smog) e nei quali vi sono costanti

variazioni delle temperature, che non saranno mai stabili così come nelle prove di laboratorio. Inoltre bisogna considerare le perdite di efficienza dovute all'utilizzo di lenti/ottiche, necessarie per distribuire meglio la luce e abbassare il forte abbagliamento.

Molte volte le gare e l'elaborazione dei relativi studi illuminotecnici riportano quindi valori che in realtà saranno molto diversi, dato che il fatidico "Lumen/Watt" riportato sulla carta non sarà mai raggiunto, ovvero - molto probabilmente - lo sarà solo per un breve periodo iniziale. Dal punto di vista del comfort visivo, i Led presentano indubbiamente un alto indice di abbagliamento e un forte contrasto di luminanza, due dei principali indici critici per il comfort visivo e la sicurezza alla guida, oltre allo sfarfallio, problema al quale è soggetta la tecnologia Led soprattutto in seguito a vari stress operativi (termici-elettrici-dimmerazione). Molti Led bianchi ad alta potenza ricadono nei Gruppo 2

e 3, con un'alta componente di lunghezza d'onda blu, diventando causa di abbagliamento sia debilitante, rendendo istantaneamente difficoltosa la visione degli oggetti, che molesto, determinando nei conducenti la necessità di volgere altrove lo sguardo o di socchiudere momentaneamente gli occhi, mettendo così a rischio la sicurezza. L'utilizzo di ottiche, come detto, serve ad abbassare l'abbagliamento, ma influisce molto sull'efficienza finale della lampada.

Induzione magnetica

L'induzione magnetica rappresenta invece una tecnologia molto indicata per le gallerie, data la sua comprovata resistenza in ambienti difficili e la lunga durata, che è fondamentale proprio in questi ambienti dove la manutenzione è una voce di costo importante in termini sia economici che di disservizio ai viaggiatori, oltre ad avere un elevato indice di efficienza energetica. Dal punto di vista del comfort visivo i vantaggi principali dell'induzione magnetica in galleria sono la mancanza di abbagliamento, una luce diffusa e ben distribuita che non crea forti zone d'ombra, un alto indice di mantenimento della luminanza nel tempo ed un'ottima resa di colore, il tutto senza l'utilizzo di ottiche. In tab. 11 sono state prese in considerazione la tecnologia a Led e la tecnologia a induzione magnetica, mettendo in evidenza i punti critici delle due tecnologie.

Smart Lighting

Negli ultimi anni si è sentito molto parlare di *smart lighting* e *smart applications*, anche in ambito infrastrutturale. Per le gallerie si fa spesso cenno all'illuminazione dinamica, l'illuminazione che può essere controllata in potenza, grado di illuminazione e tempo di accensione, qualità già possibili in precedenza ma ora molto più sofisticate. Tra l'altro uno dei potenziali utilizzi potrebbe essere quello di regolare la dimmerazione dei circuiti di rinforzo in ingresso e in uscita, a secondo del grado di illuminamento esterno tramite sensori di luminosità.

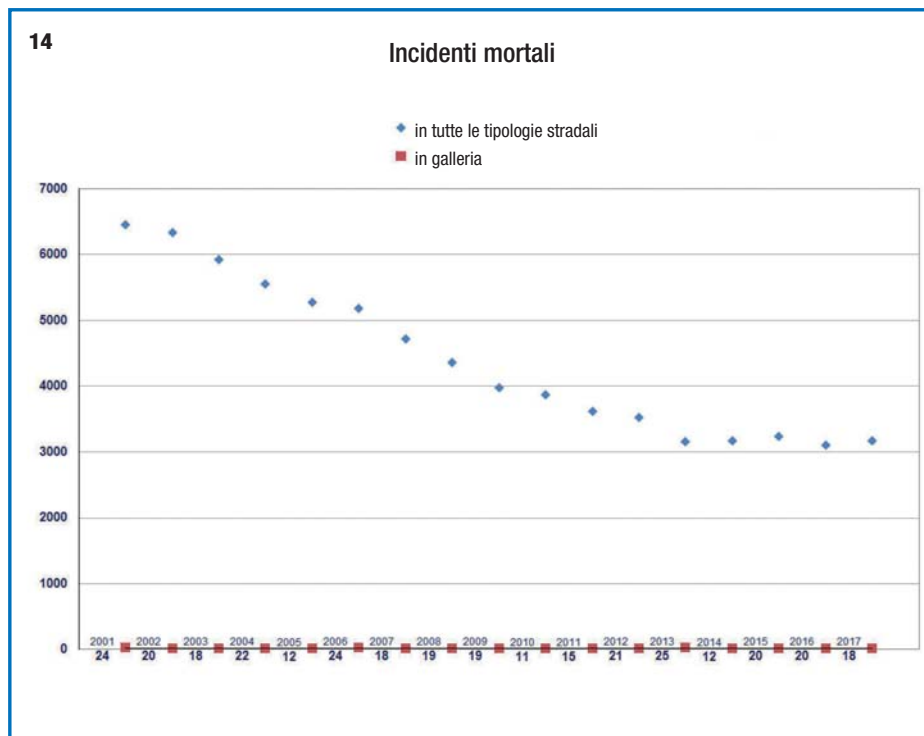
Le lampade devono essere quindi progettate in modo da sopportare stress da dimmerazioni continue, oltre ad altri fattori presenti in una galleria. Tutto ciò può divenire causa di malfunzionamenti istantanei o di drastici accorciamenti della durata di vita, e qui ritorna la sensibilità del Led a questi aspetti che, oltre a non avere consumi lineari all'abbassamento di potenza, influiscono sulla durata e sulle performance della lampada, mentre per la tecnologia a induzione la dimmerazione è lineare e non ha alcun impatto sulla durata della lampada, tantomeno non crea sfarfallio.

Un altro fattore importante da considerare in galleria è la sicurezza e l'affidabilità anche in condizioni estreme quali durante un incendio: quindi resistenza alle alte temperature e visibilità in caso di fumo, cercando di resistere il maggior tempo possibile, utile all'evacuazione e al salvataggio di vite umane. Il Led, come abbiamo visto, ha molteplici problemi con le alte temperature e ha un fascio di emissione di luce monodirezionale che abbassa inevitabilmente la visibilità in caso di fumo, mentre l'induzione ha

un fascio di emissione di luce in multifrequenza e resiste alle alte temperature, fattore utile alla sicurezza e al salvataggio di vite umane, dato che per più tempo si garantisce una corretta illuminazione più vite umane potranno essere messe in salvo.

Conclusioni

L'illuminazione rappresenta un aspetto critico per la sicurezza dei viaggiatori in galleria, ed è una delle primarie cause di incidenti, pertanto dovrebbe essere oggetto di accurate valutazioni e monitoraggi. Il comfort visivo è un aspetto cruciale e pertanto è fondamentale la scelta della tecnologia di illuminazione più adeguata, da valutare congiuntamente agli aspetti economici, alla durata e alla relativa necessità di manutenzione. Il comfort visivo andrebbe tutelato e valutato per tutti i tipi di conducenti, includendo anziani e soggetti sensibili, perché se anche una sola piccola percentuale dei conducenti può soffrire di una qualsiasi reazione (o semplicemente mancata messa a fuoco) provocata da una cattiva illuminazione si può rischiare di creare pericolosi incidenti.



Come si può notare dai grafici, proprio negli ultimi 5 anni sono aumentati gli incidenti in galleria e il numero di persone coinvolte. Sarebbe utile un consuntivo circa la messa in sicurezza delle centinaia di gallerie, tunnel e trafori sulle strade extraurbane e autostradali del Paese, dove vengono analizzate tutte le cause dei potenziali incidenti. Sarebbe altresì utile che vi fossero controlli post operam per tutte le gallerie dove sono stati effettuati modificazioni relative all'apparato illuminotecnico per valutare se le premesse che hanno portato all'adozione di un sistema abbiano portato benefici in termini di riduzione dell'incidentalità in quel tratto specifico. ■■

14. Sinistri mortali in strada e in galleria