



COMUNE DI CAPACCIO PAESTUM

(Provincia di Salerno)

Opera

Riqualificazione energetica della pubblica illuminazione stradale con corpi illuminanti a LED e sistemi automatici di regolazione - Telecontrollo e telegestione del flusso luminoso

Livello progettuale

PROGETTO ESECUTIVO

ai sensi dell'art. 23 del D.LGS 50/2016 e dell'art. 23 del D.P.R. 207/2010

Elaborato		RELAZIONE SPECIALISTICA		Scala
2				//
Maggio 2023		PRIMA EMISSIONE		
Data	Rev.	Descrizione		Redattore

Verificato:

Visto:

Approvato:

Progetto

Sommario

Premessa	2
Riferimento normativo	2
Modalità di calcolo utilizzate per la definizione dei coefficienti di manutenzione specifici per ciascuna tipologia di apparecchio illuminante proposto, secondo le modalità definite nel documento CIE 154/2003..	7
Validazione del software di calcolo illuminotecnico	8
Output di calcolo illuminotecnico.....	8

Premessa

Sempre maggiore è l'attenzione espressa in ambito regionale e nazionale relativamente all'individuazione di possibili interventi sugli impianti di illuminazione pubblica in tema di risparmio energetico ad uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso (compatibilità ambientale).

Le dispersioni di flusso luminoso nell'ambiente sono causate sia dalle caratteristiche fotometriche degli apparecchi di illuminazione che dalle proprietà di riflessione delle superfici illuminate.

I criteri di scelta, posizionamento e puntamento degli apparecchi di illuminazione utilizzati nei calcoli illuminotecnici, sono tesi alla limitazione di tali dispersioni: questo si traduce nell'uso razionale e sostenibile dell'energia.

Per il perseguimento di tali obiettivi sono stati identificati i seguenti accorgimenti:

- controllo del flusso luminoso direttamente rivolto verso la volta celeste attraverso puntamenti configurati con appositi software di calcolo che utilizzano il metodo della modellazione tridimensionale;
- limitazione della luce spuria direttamente emessa dall'apparecchio attraverso apparati ottici, riflettori e rifrattori capaci di un alto controllo del flusso emesso e da sistemi accessori di schermatura;
- contenimento della potenza utilizzata dell'impianto attraverso sorgenti luminose a basso consumo energetico, a lunga durata.

Si pone una maggiore attenzione a livelli di illuminamento eccessivamente alti, che implicano consumi di energia inutilmente elevati e una conseguente alta incidenza sui costi energetici.

Al fine del raggiungimento degli obiettivi descritti, è utile ragionare in merito all'efficienza globale del sistema impiantistico: il miglior controllo del flusso luminoso verso i target illuminotecnici stabiliti, la qualità dei materiali impiegati, la razionalizzazione dell'alimentazione e della distribuzione dell'impianto elettrico sono mezzi che il presente progetto fa propri.

Riferimento normativo

Per quanto riguarda la normativa tecnica, premessa fondamentale per la completezza dell'elaborazione progettuale è il rispetto della norma UNI 11248 "Illuminazione stradale. Selezione delle categorie illuminotecniche" (ultimo aggiornamento Novembre 2016) che stabilisce le relazioni tra le tipologie di strada e le condizioni al contorno locali e la categoria illuminotecnica. Inoltre nel 2016 il CEN ha pubblicato gli aggiornamenti dei testi contrassegnati dal numero 13201 che contemplano l'illuminazione di tutte le tipologie di strada, da quelle motorizzate a quelle pedonali, comprese quelle a traffico misto dette "conflittuali". In particolare la UNI EN 13201-2 stabilisce i valori di riferimento per le specifiche categorie illuminotecniche.

La UNI 11248 si ispira a criteri di sicurezza e di prestazioni, a cui aggiunge il risparmio energetico, e riporta la categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi per ogni tipo di strada.

Si riporta, a tal proposito, il prospetto 1 della norma UNI 11248.

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h ⁻¹]	Categoria illuminotecnica a d'ingresso	Larghezza min. della corsia (m)	Larghezza min. banchina a destra (m)
A ₁	Autostrade extraurbane	130+150	M1	3,75	2,50****
	Autostrade urbane	130	M2	3,75	2,50****
A ₂	Strade di servizio alle autostrade extraurbane	70+90	M2	3,50**	1,25
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	M3	3,00**	0,50
B	Strade extraurbane principali	110	M2	3,75	1,75
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70+90	M3	3,50**	1,25
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2) ¹⁾	70+90	M2	3,75 / 3,50	1,50 / 1,25
	Strade extraurbane secondarie	50	M3		
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70+90	M2		
D	Strade urbane di scorrimento ²⁾	70	M2	3,25*	1,00
		50		2,75**	0,50
E	Strade urbane di quartiere	50	M3	3,00**	0,50
F ³⁾	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2) ¹⁾	70+90	M2	3,50 / 3,25	1,00
	Strade locali extraurbane	50	M4		

		30	C4/P2		
	Strade locali urbane	50	M4		
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	C3/P1		
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	C4/P2	2,75**	0,50
	Strade locali urbane: aree pedonali, centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	C4/P2		
	Strade locali interzonali	50	M3		
		30	C4/P2		
Fbis	Itinerari ciclo-pedonali ⁴⁾	Non dic.	P2		
	Strade a destinazione particolare ¹⁾	30			

¹⁾ Secondo il D.M. 5.11.2001 prot. n. 6792

²⁾ per le strade di servizio delle strade urbane di scorrimento, definita la categoria illuminotecnica per la strada principale, si applica la categoria illuminotecnica con prestazione di luminanza immediatamente inferiore o la categoria comparabile con questa (prospetto 6)

³⁾ vedere punto 6.3

⁴⁾ secondo la legge 1° agosto 2003 n° 214 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 27 giugno 2003 n° 151, recante modifiche e integrazioni al codice della strada"

* m 3,50 per una corsia per senso di marcia, se strada percorsa da autobus

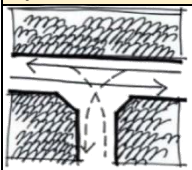
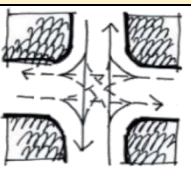
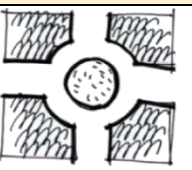
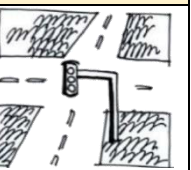


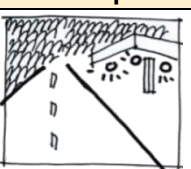
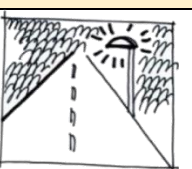
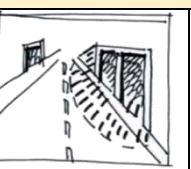
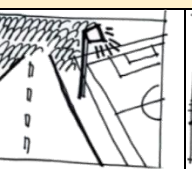
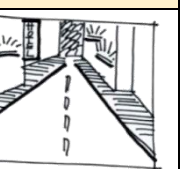
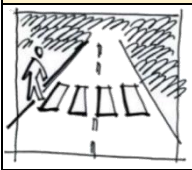
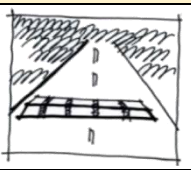
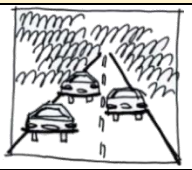
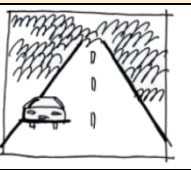
** nel caso di una strada a senso unico con una sola corsia, la larghezza complessiva della corsia più le banchine deve essere non inferiore a 5,50m, incrementando la corsia sino ad un massimo di m 3,75 e riportando la differenza sulla banchina in destra

*** per spartitraffico che ricade nel margine interno

**** per spartitraffico che ricade nel margine laterale

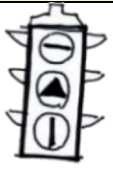
Individuata la categoria illuminotecnica di ingresso occorre valutare tutte quelle caratteristiche specifiche dell'ambiente, la cosiddetta "analisi dei rischi" che consiste nella valutazione dei parametri di influenza, al fine di individuare le categorie illuminotecniche che garantiscano la massima efficacia del contributo degli impianti di illuminazione alla sicurezza degli utenti della strada in condizioni notturne, minimizzando al contempo consumi energetici, costi di installazione e di gestione e impatto ambientale. La categoria illuminotecnica di ingresso, sottoposta all'analisi dei rischi, porta all'individuazione della categoria illuminotecnica di progetto.

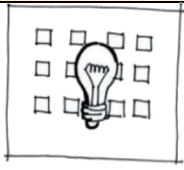
I parametri di influenza si riassumono in:

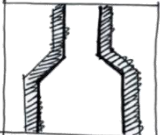
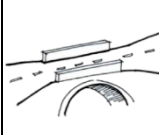
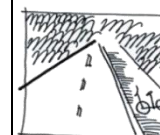
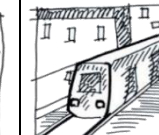
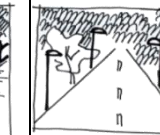
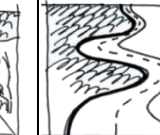
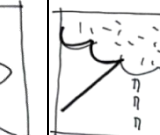
1) Intersezioni stradali a raso				2) Pericolo di aggressione	
					Parametro condiviso (verifica dati statistici)
lineari	a quattro rami	rotatoria	semaforizzate		
3) Complessità del campo visivo					
					
cartelli pubblicitari luminosi	stazioni di servizio aree private fortemente illuminate	apparecchi luminosi non orientati correttamente	vetrine fortemente illuminate	illuminazione campi sportivi	edifici fortemente illuminati
4) Attraversamenti pedonali		5) Flussi di traffico			
					

strisce pedonali	dossi
------------------	-------

flusso di traffico ridotto < 50% del massimo	flusso di traffico ridotto < 25% del massimo
--	--

6) Segnaletica cospicua	
	segnale che attrae l'attenzione dei conducenti degli autoveicoli per le sue caratteristiche di luminanza

7) Resa cromatica	
	$R_a \geq 60\%$

8) Condizioni conflittuali						
						
strette	ponti	piste ciclabili a raso	corsia tram traffico promiscuo	ostacoli in elevazione disposizione quinconce impianti di illuminazione	strade tortuose	condizioni climatiche particolarmente avverse

Fra i parametri di influenza costanti nel lungo periodo di cui al prospetto 2 della norma, riportati in precedenza nelle tabelle 1÷4, 6 ed 8, vi è quello proprio delle sorgenti luminose dell'apparecchio utilizzato, che se emettono un indice generale di resa dei colori R_a maggiore o uguale a 60 ed hanno un rapporto S/P (scotopico/fotopico) maggiore o uguale a 1.10, rende possibile la riduzione di una categoria la classificazione illuminotecnica in ingresso. Se però tra i parametri che hanno determinato la riduzione di categoria illuminotecnica in ingresso compare anche l'indice R_a ed il rapporto S/P, al di là delle verifiche ulteriori in capo al progettista richieste dalla norma, in ogni caso, le categorie illuminotecniche di progetto e di esercizio devono mantenere il valore di uniformità nei limiti previsti dalla categoria illuminotecnica di ingresso.

Valori tipici di S/P	
Sorgenti luminose	Rapporto S/P
Sodio bassa pressione	0,25
Sodio alta pressione	0,60
Mercurio alta pressione	1,05
Led a luce calda	1,15
Alogenuri a luce calda	1,75
Led a luce fredda	2,15
Alogenuri a luce fredda	2,50

La possibilità di riduzione offerta dalla norma altro non fa che scontare quel "margine di sicurezza", ricompreso nell'utilizzo convenzionale delle fotometrie fotopiche, che considera già il tema della bassa percezione per determinati spettri emessi da alcune tipologie di sorgenti luminose. Tuttavia l'applicazione dello sconto di categoria illuminotecnica ha come condizione *sine qua non* le "esigenze di visione periferica" (angolo visivo $15 \div 20^\circ$) e quindi l'identificazione di oggetti fuori dal campo foveale; in questi casi gli studi dimostrano che riducendo la luminosità ed impiegando lampade con forte componente blu si ottengono miglioramenti della visione periferica (fino al 25% in più).

I parametri di influenza di cui al Prospetto 2 della Norma UNI 11248:2016 presi in considerazione nell'analisi dei rischi, per abbassare, dove possibile, uno o più livelli delle categorie illuminotecniche si ingresso sono:

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Complessità del campo visivo normale	1
Assenza o bassa densità di zone di conflitto ^{1) 2)}	1
Segnaletica cospicua ³⁾ nelle zone conflittuali	1
Segnaletica stradale attiva	1

Assenza di pericolo di aggressione	1
¹⁾ In modo non esaustivo sono zone di conflitto gli svincoli, le intersezioni a raso, gli attraversamenti pedonali, i flussi di traffico di tipologie diverse ²⁾ È compito del progettista definire il limite di bassa densità ³⁾ Riferimenti in CIE 137-2000 "The conspicuity of traffic signs in complex backgrounds"	

Considerando invece i parametri di influenza variabili nel tempo di cui al prospetto 3 della Norma, si ottengono una o più categorie illuminotecniche di esercizio.

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

Per quanto riguarda le intersezioni stradali quali rotonde e svincoli, secondo quanto stabilito dalla norma UNI 11248, si è fatto riferimento alle categorie illuminotecniche della serie C, tenendo conto del fatto che la categoria illuminotecnica di ingresso dovrebbe essere maggiore di un livello rispetto alla maggiore tra quelle previste per le strade d'accesso, facendo riferimento al Prospetto 5 della norma UNI 11248.

Categoria illuminotecnica comparabile						
Condizione	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Se $Q_0 \leq 0,05 \text{ sr}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Se $0,05 \text{ sr}^{-1} < Q_0 \leq 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Se $Q_0 > 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C2	C3	C4	C5	C5	C5
			P1	P2	P3	P4
Nota: Per il valore Q_0 vedere punto 13 e l'appendice B						

In conclusione, si prevede uno step di riduzione del flusso nelle ore notturne per i nuovi punti luce. Il coefficiente associato a tutti i sistemi di regolazione del flusso luminoso è pari a 0,7 (ovvero riduzione del 30% di potenza durante le ore di regolazione).

A seguito di queste osservazioni e di queste analisi le aree oggetto di intervento sono state classificate, secondo un'attenta analisi urbanistica.

Le categorie di progetto individuate nel territorio comunale di Capaccio Paestum sono quindi le seguenti:

- M3 (lungo le strade provinciali e statali);
- M4 (lungo le strade provinciali cittadine);
- M5 (lungo le strade secondarie del centro urbano);
- C3 (lungo le zone 30);
- C4 (lungo incroci e lungo le strade principali dei centri storici e aree verdi);
- P1 (nelle piazze e lungo percorsi esclusivamente pedonali).

Individuate le categorie illuminotecniche di progetto, la consultazione della norma UNI EN13201-2 consente di valutare i parametri illuminotecnici ad esse associati.

Di seguito i valori minimi indicati dalla normativa di riferimento per le categorie individuate:

Categoria	Luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto stradale asciutto e bagnato				Abbagliamento debilitante	Illuminazione di contiguità
	Asciutto			Bagnato	Asciutto	Asciutto
	L (minima mantenuta) cd x m ²	U _o (minima)	U _I ^{a)} (minima)	U _{ow} ^{b)} (minima)	f _{Tl} ^{c)} (massima) %	R _{EI} ^{d)} (minima)
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35

M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	15	0,30
a)	L'uniformità longitudinale (U_l) fornisce una misura della regolarità dello schema ripetuto in zone luminose e zone buie sul manto stradale e, in quanto tale, è pertinente soltanto alle condizioni visive su tratti di strada lunghi e ininterrotti, e pertanto dovrebbe essere applicata soltanto in tali circostanze. I valori indicati nella colonna sono quelli minimi raccomandati per la specifica categoria illuminotecnica, tuttavia possono essere modificati allorché si determinano, mediante analisi, circostanze specifiche relative alla configurazione o all'uso della strada oppure quando sono pertinenti specifici requisiti nazionali.					
b)	Questo è l'unico criterio in condizioni di strada bagnata. Esso può essere applicato in aggiunta ai criteri in condizioni di manto stradale asciutto in conformità agli specifici requisiti nazionali. I valori indicati nella colonna possono essere modificati laddove siano pertinenti specifici requisiti nazionali.					
c)	I valori indicati nella colonna f_{T1} sono quelli massimi raccomandati per la specifica categoria illuminotecnica, tuttavia, possono essere modificati laddove siano pertinenti specifici requisiti nazionali.					
d)	Questo criterio può essere applicato solo quando non vi sono aree di traffico con requisiti illuminotecnici propri adiacenti alla carreggiata. I valori indicati sono in via provvisoria e possono essere modificati quando sono specificati gli specifici requisiti nazionali o i requisiti dei singoli schemi. Tali valori possono essere maggiori o minori di quelli indicati, tuttavia si dovrebbe avere cura di garantire che venga fornito un illuminamento adeguato delle zone.					

Categoria	Illuminamento orizzontale	
	E (minimo mantenuto) L_x	U_o (minimo)
C0	50,0	0,40
C1	30,0	0,40
C2	20,0	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40
C5	7,5	0,40

Categoria	Illuminamento orizzontale		Requisito aggiuntivo se necessario il riconoscimento facciale	
	$E^{a)}$ (minimo mantenuto) l_x	E_{min} (minimo mantenuto) L_x	$E_{v\ min}$ (minimo mantenuto) l_x	$E_{sc\ min}$ (minimo mantenuto) l_x
P1	15,0	3,00	5,0	5,0
P2	10,0	2,00	3,0	2,0
P3	7,50	1,50	2,5	1,5
P4	5,00	1,00	1,5	1,0
P5	3,00	0,60	1,0	0,6
P6	2,00	0,40	0,6	0,2

Per quanto riguarda i valori dei livelli di luminanza, illuminamento e relative uniformità, si sono considerate le raccomandazioni contenute nella norma UNI 11248 e UNI EN 13201-2, precedentemente descritte, che forniscono gli adeguati valori legati alla classificazione delle strade.

Pertanto si è fatto esplicito riferimento ai parametri di luminanza media mantenuta, ovvero ai valori che assume la luminanza media del manto stradale nelle condizioni peggiori di invecchiamento e di insudiciamento dell'impianto di illuminazione.

Particolare importanza nei progetti di intervento di riqualificazione funzionale è stata attribuita anche ai rapporti di uniformità definiti dalla stessa normativa.

La limitazione dell'abbagliamento è stata valutata mediante l'indice di abbagliamento debilitante che deve essere inferiore ai valori indicati in relazione al tipo di strada.

In merito ai valori di luminanza media mantenuta previsti dalla UNI 13201-2, è necessario osservare che l'indispensabile attenzione verso la rispondenza ai requisiti di compatibilità ambientale degli impianti (contenimento dell'inquinamento luminoso) richiede che il valore di progetto debba essere quello minimo previsto dalle norme, al fine di contenere il flusso luminoso inviato indirettamente verso il cielo e di contenere la stessa luminanza media mantenuta delle superfici stradali.

L'impiego di adeguati strumenti informatici è stato pertanto fondamentale nella messa a punto della presente proposta progettuale: gli interventi previsti sono stati ideati, dimensionati e verificati con il supporto di un software di calcolo dedicato. L'adeguatezza degli apparecchi di illuminazione rispetto agli effetti luminosi desiderati è stata pertanto verificata attraverso calcoli illuminotecnici.

Modalità di calcolo utilizzate per la definizione dei coefficienti di manutenzione specifici per ciascuna tipologia di apparecchio illuminante proposto, secondo le modalità definite nel documento CIE 154/2003

Il progressivo insudiciamento degli apparecchi di illuminazione, unitamente all'invecchiamento e alla mortalità delle sorgenti, provocano una graduale riduzione del flusso luminoso emesso nel tempo.

Per garantire l'illuminamento necessario nel tempo la progettazione illuminotecnica prevede il calcolo di un fattore di manutenzione MF (Maintenance Factor) che valuti i cali dei flussi luminosi di un impianto di illuminazione.

Il valore da nuovo dell'illuminamento di un impianto viene quindi calcolato sulla base del valore di manutenzione dell'illuminamento e del fattore di manutenzione. Il piano di manutenzione fissa degli intervalli di pulizia degli apparecchi e dell'ambiente e gli intervalli per la sostituzione delle lampade. Il valore di manutenzione dell'illuminamento dipende quindi dagli apparecchi, dalle lampade e dalle condizioni dell'ambiente.

La norma sull'illuminazione stradale prescrive di tener conto di tale perdita mediante la luminanza media mantenuta, il che si traduce in un sovradimensionamento dell'impianto a inizio vita da stabilire in sede di progetto illuminotecnico. L'entità del sovradimensionamento è uguale all'inverso del fattore di manutenzione MF.

Per il calcolo del fattore MF si fa riferimento ai dettami della norma CIE 154:2003.

Relativamente al fattore di manutenzione del punto luce (LMF) si sottolinea che il deprezzamento dei corpi illuminanti a LED è dovuto principalmente allo sporco che si accumula sul vetro di protezione e pertanto è strettamente connesso a:

- Grado di protezione IP degli apparecchi di illuminazione;
- Intervallo di pulizia prevista dal piano di manutenzione;
- Inquinamento nell'area di installazione

La seguente tabella è applicabile a tutti i prodotti oggetto del documento:

Grado IP del vano ottico	Categoria d'Inquinamento	Intervalli di esposizione (anni)				
		1	1.5	2	2.5	3
IP5X	Alto	0.89	0.87	0.84	0.80	0.76
	Medio	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82
	Basso	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88
IP6X	Alto	0.91	0.90	0.88	0.85	0.83
	Medio	0.92	0.91	0.89	0.88	0.87
	Basso	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90

La formula da utilizzare è la seguente:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF$$

Dove:

Dove:

- MF = Fattore di manutenzione
- LLMF = Fattore di deprezzamento del flusso
- LSF = Fattore di mortalità sorgente (per il LED praticamente pari a 1)
- LMF = Fattore di manutenzione del punto luce

Il valore matematico che ne risulta è sempre superiore a 0,8.

Prudenzialmente, all'interno dei calcoli effettuati si è preferito utilizzare il fattore MF pari a 0,80 a completa tutela della Pubblica Amministrazione.

Validazione del software di calcolo illuminotecnico

La specificità dei programmi utilizzati ha consentito di considerare i risultati di calcolo sia da un punto di vista quantitativo sia da un punto di vista "qualitativo". Il software ha consentito inoltre di verificare l'adeguatezza degli impianti in progetto rispetto alla Normativa UNI vigente in tema di prestazioni illuminotecniche degli impianti di illuminazione pubblica. Si riportano di seguito dettagli tecnici relativi ai calcoli illuminotecnici effettuati con software dedicato.

I calcoli sono stati realizzati mediante software illuminotecnico (Relux Desktop), largamente impiegato nella progettazione e progettati specificamente per la verifica illuminotecnica secondo la Normativa UNI EN 13201-2 (Illuminazione stradale). Il software di calcolo illuminotecnico impiegato opera pertanto in accordo con tutti gli standard internazionali (strade). Il rispetto di tutti i valori descritti è parametro progettuale riscontrabile dai calcoli illuminotecnici. I calcoli illuminotecnici eseguiti sono riportati nel successivo "Output di calcolo illuminotecnico".

La complessità del compito visivo è stata valutata tramite il controllo delle luminanze prodotte dalle sorgenti primarie di luce, dalle superfici presenti in ambiente e dei loro contrasti. Una non corretta distribuzione delle luminanze o eccessivi contrasti determinano, infatti, disturbi visivi che, in illuminotecnica, vengono definiti abbagliamenti, e che, per la sicurezza degli utenti, devono essere assolutamente controllati. Si riporta di seguito il certificato di conformità del software di calcolo utilizzato per le verifiche illuminotecniche.

Output di calcolo illuminotecnico

Si rimanda all'elaborato 3.3 dei calcoli illuminotecnici.