

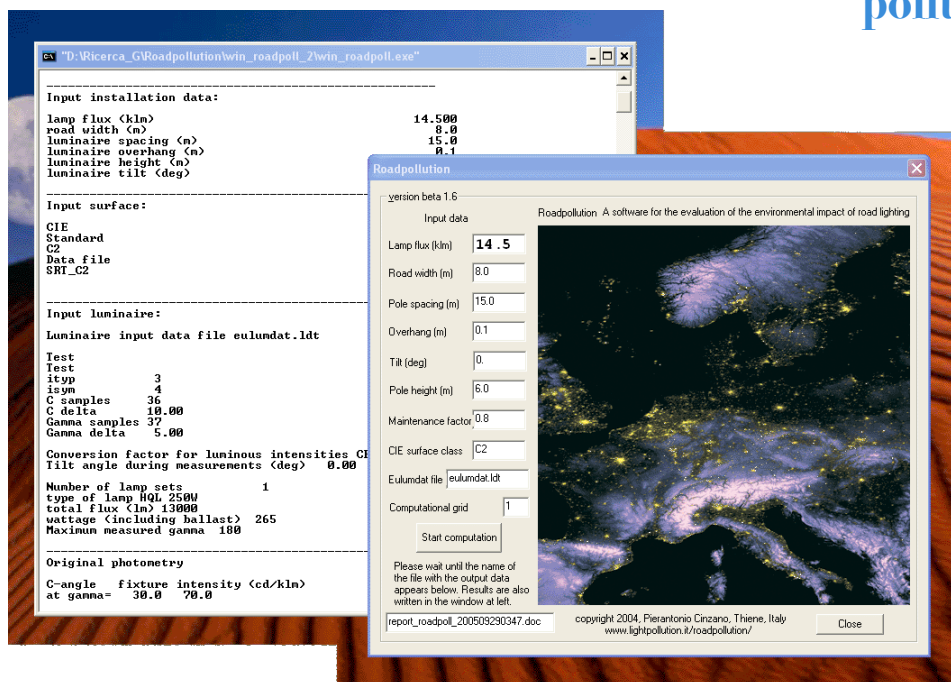
Roadpollution

User Manual Manuale d'uso

Pierantonio Cinzano

26 September 2005 • v1.6.1

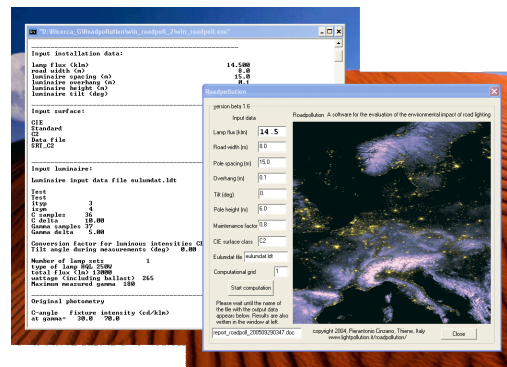
software for the analysis of road lighting installations and
the evaluation of the environmental impact due to light
pollution



software per

l'analisi degli impianti di illuminazione stradale e per la valutazione dell'impatto ambientale da inquinamento luminoso

Summary



User Manual

Overview

Usage

What the most interesting parameters are?

Example of Report

Input and Output files

Documentation

Manuale d'uso

Presentazione

Uso

Quali sono i parametri più interessanti?

Esempio di rapporto

Input e Output file

Documentazione

3

3

4

7

11

18

19

21

21

22

25

30

37

38

Roadpollution

USER MANUAL

Overview

ROADPOLLUTION is a software for the analysis of road lighting installations and for the evaluation of their environmental impact in terms of light pollution. It provides a detailed report including a large number of parameters which allow to quantify the quality of the lighting design, its effectiveness in energy saving, its correspondence to the requirements for minimizing light pollution and its compliance to laws against light pollution.

ROADPOLLUTION is not intended as a lighting design software, even if it computes all typical parameters like average maintained luminance, horizontal, vertical and semicylindrical illuminances, uniformity, glare, luminance/illuminance distributions on the road and much more. For design purposes, specific and certified softwares should be used, together with indispensable optimization software like EASY LIGHT (www.cielobuio.org). Lighting designers can profitably use ROADPOLLUTION to check the quality of their design and to experiment how to improve energy saving and light pollution control. When a satisfying design is reached, the report obtained with ROADPOLLUTION can be attached to the lighting plan. It constitutes an additional value and it helps the designer to emphasize the good qualities of the lighting installation toward customers, public opinion and environmentalists.

ROADPOLLUTION can be profitably used by peoples involved in control of light pollution to check the energy saving and the environmental impact of a lighting installation, based on two fundamental documents which should always follow it: the lighting design and the luminaire's photometrical data. In lack of the first, input parameters can be obtained with an on-site inspection of the installation. Note that a favorable result of the analysis of a lighting design does not assure that the actual installation is good too. An accurate check of the compliance of a lighting installation with the lighting design should be carried on during the inspection which follows the realization of the installation or when doubts arise about this compliance.

The compliance of a lighting design with laws against light pollution in principle should be verifiable directly on the two cited documents and should not require specific calculations. However, ROADPOLLUTION is invaluable to check their consistency and accuracy, to compute missing parameters, to gain wider informations or when the lighting design is unavailable or incomplete. Moreover the ROADPOLLUTION report constitutes an useful “identity card” of the lighting installation where all useful parameters are easily found in a uniform form.

Installation

ROADPOLLUTION requires a PC with Windows XP. It should work also under windows 98/NT/2000 but it was not tested under these OS versions.

ROADPOLLUTION does not need to be installed. It is sufficient to unzip the file *roadpollution.zip* inside a directory in the chosen position of the disk.

The files with the input photometrical data must be placed inside the *same* directory, together with the ROADPOLLUTION software. An example *eulumdat.ldt* file is already included for trial purposes.

If a link to Roadpollution in the Desktop or in the Start Menu is wanted, drag-and-drop the *roadpollution.exe* file in the desired position while clicking the right button of the mouse. When the menu opens, click on “create link” (be careful to not click on “move”).

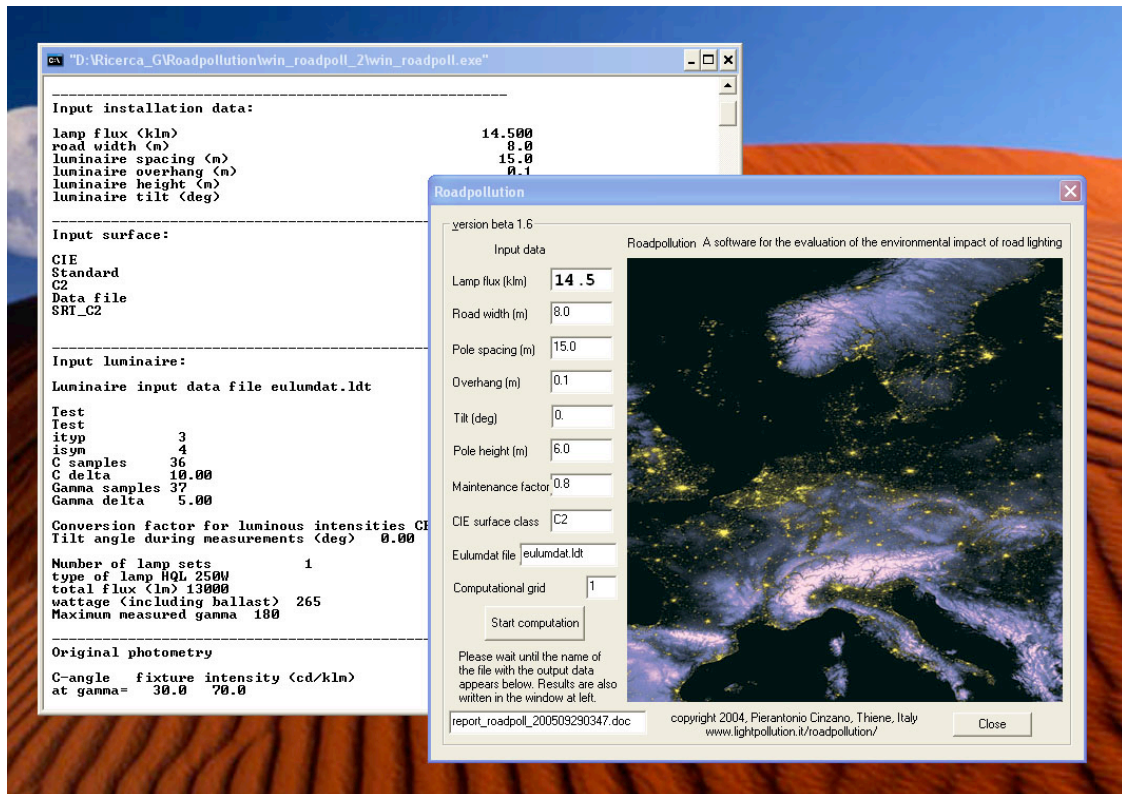
Usage



In order to run ROADPOLLUTION, double click the file *roadpollution.exe* in the unzipped directory, or the link that you made in your Start Menu. The file is identified by the icon at left.

Two windows open. The rightmost window shows the boxes where the input parameters should be written and the button to start the computation. The leftmost window shows the results as soon as the program compute it.

The user should write the correct input parameters of the lighting installation under evaluation and then should press the button “Start computation”. The required input data are:



- 1) Light flux of the adopted lamps in kilolumens. This value can be smaller than the standard output of the lamp when a flux controller is assumed to be active.
- 2) Road width in meters.
- 3) Pole spacing in meters.
- 4) Luminaire overhang in respect to the road border in meters.
- 5) Luminaire tilt for computation in degrees. The tilt should always be zero in lighting installations careful of minimizing light pollution. However the limits to the upward luminous intensity per unit flux required by some laws against light pollution allow small tilts to some luminaires, so this possibility was included in the software. The tilt is intended “in respect to the position of the luminaire in the photometrical data file”. This position in rare cases could differ from the “suggested position of installation” or from the zero tilt of their optics.
- 6) Pole height in meters.
- 7) Maintenance factor, accounting for lamp depreciation etc.
- 8) Kind of surface according to CIE classification (C1, C2, R1, R2, R3, R4).
- 9) Name of the file with the input photometrical data in EULUMDAT format of the chosen combination of fixture, optics, lamp and lamp position. See the note in the box below.

10) Computational grid: 1 for italian standard UNI 10439; 2 for CIE Publ. 140 (2000) and european standard EN 13201-3 (2004); 3 for ANSI-IESNA RP-8-00; 4 for a 100 x 50 high resolution grid; 5 to 9 for grids customized by the user by editing the file *grid.dat*.

The computation last from few seconds to some minutes, depending on the grid-size.

ROADPOLLUTION writes a detailed report in the file *report_roadpoll_XXXX.doc*. The name contains a numerical code which identifies each computation based on date and time and it is shown in both windows when the computation is completed. In order to not overwrite the output files, in some computers users should wait 60 seconds since the start of the previous computation before to run again the program. The header of the Report can be customized by editing the first 5 lines (max 80 characters) of the file *header.txt*.

ROADPOLLUTION also produces the file *outdat_roadpoll_XXXX.doc* which contains data tables like the distributions on the road surface of luminance, horizontal, semicylindrical and vertical illuminance, veiling luminance, glare ratio, etc. In spite of their *.doc* extensions, these output files are in normal text format (txt) and can be opened with any word processor like NOTEPAD, WORDPAD, WORD. Other output files are described in next sections.

The responsible user should check line by line the input file with photometric data in order to verify its compliance with EULUMDAT format because non-standard files could produce wrong results. See [2] for a line-by-line description of the EULUMDAT format. In particular, ROADPOLLUTION needs correct data at lines 2, 3, 4, 5, 6, 7, 28, 29, 32, 43, 44, 45 (identified in [2] as 2, 3, 4, 5, 6, 7, 26b, 26c, 26f, 28, 29, 30). Lines 22, 23, 24, 25 should be set to zero and line 26 to 1, if proper numbers are not available. The other lines should contain at least a character or a number. Photometrical data in IES format (BSR/IESNA Publ. LM-63-2002) can be converted in EULUMDAT format with conversion softwares like e.g. PHOTOMETRIC TOOLBOX of Lighting Analysts, Inc. or the free IES2TAB of Prof. Jan Hollan.

The software is intended for two lane roadways but it could be used for more complex roads by properly specifying the grid size and the observer position in the *grid.dat* file. It can also be used to obtain informations about lighting installations with a disposition of luminaires different from a road by using generical parameters in input and considering in the report only those parameters which do not depend on the luminaire disposition and on the lighted area (e.g. upward light intensities and upward fluxes of the luminaires).

What the most interesting parameters are?

The report of ROADPOLLUTION contains a large number of parameters. Here I will resume the most interesting ones, some of which are frequently neglected in the usual lighting design practice. In the next paragraph an example of Report is shown with the described parameters emphasized in red.

A proper minimization of light pollution requires that (1) the light reflected by lighted surfaces be limited to the necessary by avoiding overlighting; (2) the upward light emission by the luminaires be minimized; (3) the downward light emission wasted by the luminaire outside the road surface be minimized as much as possible so that the light reflected needlessly from these surfaces be minimized too.

One of the first rules for minimizing light pollution and maximizing energy saving is to not over-light. Hence firstly it should be checked that the **average maintained luminance** of the road surface is both not lower than the level required by safety rules for that road class and not higher than it. A luminance higher than the necessary means that more energy than necessary is consumed and more light pollution than necessary is produced by the light reflected from the road surface. This is always explicitly required by a good law against light pollution (e.g. the majority of the regional laws in Italy prescribe it). For some kind of installations, like e.g. pedestrian areas, safety rules refers to the **maintained illuminance** rather than to the luminance, so this one will be the parameter to be checked. If the luminance or the illuminance are larger, the lighting design should be revised. In countries where laws against light pollution prescribe the use of flux controllers to reduce luminance/illuminance after curfew time, they can be also used for small adjustments of the luminance/illuminance at maximum.

In order to check the energy saving capabilities of a lighting installation, fundamental quantities are the **installed lamp flux per unit length per unit luminance** and the **installed lamp flux per unit area per unit luminance** (also called **photometric efficacy**). The first is useful for comparing more installations on the same road and the second is better for comparing installations on roads of different width. These quantities should be as small as possible. Good installations with full-cut-off fixtures should be at least under about 300 klm/km per cd/m² and 40 lm/cd for maintenance factors of 0.8, or under about 240 klm/km per cd/m² and 32 lm/cd when referred to the initial luminance. Best reported values for full cut off fixtures are under about 200 klm/km per cd/m² and 25 lm/cd, referred to the initial luminance.

If the photometric efficacy is too large, a fundamental parameter to recognize the causes is the **utilance** or **used fraction of the luminaire flux**, which gives direct information on the quantity of light that the lighting design makes to be sent on the road surface and outside of it. The reduction of the light wasted outside the road, i.e. the maximization of the utilance, not only is the more effective way to reduce energy consumption but also allows to reduce the useless light pollution produced by the light reflected by those surfaces which should not be lighted. The **fixture efficiency** (fraction of lamp light which is actually emitted) is a less important parameter because a fixture could be poorly efficient but it could be able to send a greater fraction of light on the road surface whereas a more efficient fixture could waste a lot of light outside the road. However, a look to the calculated **downward light output ratio DLOR** (downward fixture efficiency) it is worth. It is unlikely that a fixture with downward efficiency under the common range 65%-80% will allow a lighting design with a good photometric efficacy. The **utilization factor** (utilance times the fixture efficiency, expressed as fraction) is another useful parameter but it mixes the utilance, which depends on the lighting installation design, with the fixture efficiency, which depends on the fixture choice. It is preferable to analyze them separately.

The **lamp efficacy** gives another important information related to the energy saving. It should be the larger available for the lamp class required by the kind of lighting. ROADPOLLUTION calculates it from the EULUMDAT data file. If the lighting installation uses a similar or analogue lamp but not exactly the same one, the efficacy could be different. Responsible users should verify this before using this parameter.

The product of the photometric efficacy times the lamp efficacy gives the **installed power per unit length per unit luminance** or the **installed power per unit area per unit luminance** (sometimes called **power efficacy** or **energetic efficacy**). Even if these could seem more meaningful parameters, usually it is more useful to evaluate separately the photometric efficacy and the lamp efficacy because the first strictly depends on the lighting design whereas the second depends on the lamp choice. The lighting designer should obtain the best for each of them. The energetic efficacy could become important in some comparisons like e.g. if we want compare an installation with low poles, large spread fixtures and low power lamps with another with high poles, narrow spread fixtures and higher power lamps. In this case the photometric efficacy is not sufficient for a correct comparison because the lamp efficacy changes with the lamp power. Like before, it is necessary to verify the actual lamp efficacy before using these parameters.

A parameter not related to the energy expense but to the expenses for installation and maintenance is the **number of luminaire per unit road length** (luminaires per km). It is less important than the photometric efficacy because usually a larger energy saving should be preferred to a smaller number of luminaires. In fact a larger energy saving usually pays off a larger installation expense in a fraction of the lifetime of the lighting installation.

A look to the **threshold increment TI** and to the **glare rating GR** gives information on the care that the lighting designer devoted to the control of the disturbance produced by the glare. Maximum TI should be under 10 or 15, depending on the kind of road, and maximum GR should be under 55 for pedestrian ways. Refer to technical rules for specific values.

The light pollution produced by artificial light emitted upward from the fixtures of a light installation depends on the direction of emission of the light. Emissions at lower gamma, nearest to the horizon plane, are particularly effective in producing the adverse effects of light pollution because they propagate more and add efficiently. Integrated parameters, which do not account for the direction of the light emission, are then poorly useful. A good way to investigate the light pollution by direct upward emission from the fixtures of a lighting installation is to look at the table of the **upward intensity per unit luminaire flux** (cd/klm). It gives for a sample of directions, defined by elevation alpha and azimuth omega, the upward intensity of the luminaire emission per unit flux emitted by the luminaire. For comparison, the emission of the road surface (assumed Lambertian) is also shown, together with the ratio between the first and the second. We could consider “minimized” the unnecessary upward intensity by luminaires when it is smaller than 10% of the road upward intensity, at any elevation and azimuth (assuming that the road is not over-lighted).

The **maximum luminaire intensity per unit luminaire flux** allows checking if the installation is compliant with the limit required by a law against light pollution, if any. Regional laws in some regions of Italy adopt a limit of 0.49 cd/klm at gamma 90 degrees and above, for almost any kind of installation with few exceptions. Users should verify if the limit to comply with is an *intensity per unit luminaire flux* or an *intensity per unit lamp flux*. The first quantity is the second divided by the fixture efficiency (LORL, light output ratio of the luminaire). The first quantity is the one which makes sense in limiting light pollution and it is usually adopted. In few cases (e.g. regional laws of Lazio and Campania in Italy) limits enforced are different in different ranges of gamma angles. In this case the compliance of the installation with the law should be checked by manual inspection of the photometrical data. When the fixture tilt is zero, it is sufficient to look at the EULUMDAT file (dividing *per unit lamp flux* data by the

LORL if limits are *per unit luminaire flux*). When the fixture is tilted, ROADPOLLUTION provides two specific files for this purpose. *ROTATEDPHOT_* provides the intensities of the inclined luminaire, both *per unit lamp flux* and *per unit luminaire flux*, interpolated on the grid of angles C, gamma. It allows to recognize rapidly if in some directions the limit is surpassed. When the limit is surpassed for a small quantity, the possible uncertainty due to the interpolation cannot be neglected and the file *ROTATEDANGLES* should be used instead. It provides the original photometry, both *per unit lamp flux* and *per unit luminaire flux*, together with the corresponding angles C, gamma *before* and *after* the inclination. In this case the data are irregularly distributed on the grid but there is no risk of interpolation error.

Finally, even if integrated quantities are usually not effective to evaluate light pollution, it could be interesting have a look to two of them, more appropriate than the obsolete upward light flux ratio (UFR). The upward scattered flux factor and the low-angle upward scattered flux factor give the fraction of luminaire flux, in percent, which is emitted upward and then it is scattered by molecules and aerosols along its path in a standard clean atmosphere. The first factor is computed on the entire upper hemisphere and the second, more interesting, at low angles over the horizon (in the range of gamma 90-120 degrees) where light pollution propagates and adds up more efficiently. It is interesting compare these factors for (a) the direct emission by fixtures (pollution to be minimized) and (b) the reflection by surfaces lighted from wasted light (pollution to be minimized) with the factors for the road surface (the only truly unavoidable pollution). The **increase of scattered flux due to direct emission** and the **increase of scatter flux due to out-of-road light reflection** over the scattered flux due to reflection from the road surface should be always under 10%, both in the **emispheric** and in the **low-angle** case. It should be recognized, however, that the light wasted on the surfaces surrounding the road, and their consequent light reflection, are very difficult to control so much. This is the reason because laws against light pollution *so far* do not limit quantitatively the intensity per unit of luminaire flux due to reflection from surfaces which should not be lighted.

The user can limit the computation to the rotation of the photometry (the *ROTATEDPHOT_* and *ROTATEDANGLES_* files) by setting pole spacing to zero.

Example of Report

Here below a typical report is shown. The most interesting parameters described in the previous section are emphasized in red and the customizable header in blue.

Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso

via Roma 13, 36016 Thiene, Italy

tel +39 0445 381899

Dr. Pierantonio Cinzano

REPORT

Analysis of the environmental impact of
light pollution from a road lighting installation

Creator:

ROADPOLLUTION, software for the evaluation of the
environmental impact of light pollution from road
lighting and the analysis of lighting installations

copyright 2002,2005 Pierantonio Cinzano, Thiene
www.lightpollution.it/roadpollution/

Date 20051001
Time 0155
Filename report_roadpoll_200510010155.doc

Input installation data:

lamp flux (klm)	6.500
road width (m)	7.0
luminaire spacing (m)	22.0
luminaire overhang (m)	2.5
luminaire height (m)	7.0
luminaire tilt (deg)	0.0

Input surface:

CIE
Standard
C2
Data file
SRT_C2

Input luminaire:

Luminaire input data file eulumda2.ldt

Test
ityp 3
isym 4
C samples 36
C delta 10.00
Gamma samples 37
Gamma delta 5.00

Conversion factor for luminous intensities CFLI 1.0000
Tilt angle during measurements (deg) 0.00

Number of lamp sets 1
type of lamp HQL 250W
total flux (lm) 13000
wattage (including ballast) 265
Maximum measured gamma 180

Luminaire emission data from Eulumdat file (std. position):

Downward flux factor DFF %	98.00
Upward flux factor UFF % (UFR, Rn)	2.00
Light output ratio of the luminaire LORL %	73.00
Downward light output ratio DLOR %	71.54
Upward light output ratio ULOR %	1.46

Luminaire emission data (calculated):

Downward flux factor DFF %	97.80
Upward flux factor UFF % (UFR, Rn)	2.20
Light output ratio of the luminaire LORL %	71.10
Downward light output ratio DLOR %	69.54
Upward light output ratio ULOR %	1.57

Grid data:

adopted grid UNI 10439 (Italy)	
luminaire spacing (m)	22.00
luminaire spacing ratio (m)	3.14
luminaire tilt for computation (deg)	0.00
road width (m)	7.00
grid points along X	10
grid points along Y	10

```

grid dX (m) 2.20
grid dY (m) 0.70
points along X start at border
first/last grid point x= 0.0, x= 19.80
points along Y start at half cellsize from the border
first/last grid point y= 0.35, y= 6.65
luminaire at x=0.0, y= 2.50
observer 1 at z= 1.50, x=-60.00, y= 1.75
observer 2 at z= 1.50, x=-60.00, y= 5.25

```

Road lighting parameters:

```
Lamp flux maintenance factor q 0.80
```

```
observer at infinity
average maintained luminance L_ave (cd/m^2): 1.07
```

```
observer 1
maintained luminance L (cd/m^2):
average: 1.01
rms: 0.39
minimum: 0.36
maximum: 1.88
overall uniformity U_0 (min/ave): 0.36
lengthwise uniformity U_L: 0.62
```

```
observer 2
maintained luminance L (cd/m^2):
average: 1.02
rms: 0.37
minimum: 0.40
maximum: 1.84
overall uniformity U_0 (min/ave): 0.40
lengthwise uniformity U_L: 0.69
```

```
maintained horizontal illuminance E (lx):
average: 12.89
rms: 2.96
minimum: 6.93
maximum: 17.93
min/ave: 0.54
min/max: 0.39
```

```
average luminance per unit illuminance)(cd/lm)
(luminance coefficient)
at infinity: 0.083
observed: 0.078
average illuminance per unit luminance K (lx/cd/m^2)
at infinity: 12.07
observed: 12.83
```

```
veiling luminance on the road (cd/m^2):
maximum: 0.22
average: 0.09
minimum: 0.05
```

threshold increment TI %:	
maximum (both observers):	10.75
maximum (observer 1):	10.75
maximum (observer 2):	8.68
glare rating index GR:	
maximum:	40.44
average:	30.85
minimum:	24.41
maintained semicilindrical illuminance Esc (lx):	
minimum:	0.80
average:	5.15
maximum:	11.59
maintained vertical illuminance Ev (lx):	
minimum:	0.89
average:	7.60
maximum:	18.21
maintained hemispherical illuminance Ehs (lx):	
minimum:	5.11
average:	8.20
maximum:	10.69
min/ave:	0.62

Energy and cost parameters:

utilization factor (flux on the road/lamp flux):	0.382
used fraction of the luminaire flux %:	53.69
wasted fraction of the luminaire flux %:	46.31
used fraction of the downward flux %:	54.90
wasted fraction of the downward flux %:	45.10
luminaires per km:	45.45
installed lamp flux per unit length (klm/km):	295.45
installed lamp flux per unit area (lm/m ²):	42.21
installed lamp flux per unit length per unit luminance	
initial (klm/km)/(cd/m²) :	233.94
maintained (klm/km)/(cd/m²):	292.42
installed lamp flux per unit area per unit luminance	
(initial photometric efficacy, lm/cd) :	33.42
(maintained photometric efficacy, lm/cd):	41.77
installed power per unit length per unit luminance	
(kW/km)/(cd/m²):	5.96
installed power per unit area per unit luminance	
(energetic efficacy, W/cd):	0.85
evaluated for lampHQL 250W	
with lamp efficacy (including ballast) 49.1 lm/w	

Light Pollution, direction dependent parameters:

Average maintained luminance at azimuth omega

Azimuth (deg)	luminance (cd/m ²)
0	1.068
10	0.852
20	0.682
30	0.600
40	0.554
50	0.524
60	0.504
70	0.493
80	0.488
90	0.486
100	0.488
110	0.493
120	0.504
130	0.524
140	0.553
150	0.599
160	0.679
170	0.842
180	1.055
190	0.979
200	0.789
210	0.669
220	0.603
230	0.562
240	0.535
250	0.520
260	0.512
270	0.509
280	0.512
290	0.520
300	0.535
310	0.562
320	0.604
330	0.670
340	0.791
350	0.984

**Upward intensity per unit luminaire flux (cd/klm)
at elevation alpha and azimuth omega**

alpha(deg)	omega(deg)	road intensity	fixture intensity	ratio%
1	0	0.78	12.86	1656
10	0	7.72	15.47	200
20	0	15.21	12.66	83
30	0	22.24	7.03	31
1	30	0.44	10.94	2508
10	30	4.34	8.44	194
20	30	8.55	5.63	65
30	30	12.50	4.22	33
1	60	0.37	5.46	1490
10	60	3.65	4.22	115
20	60	7.18	2.81	39
30	60	10.50	2.81	26
1	90	0.35	5.69	1608
10	90	3.52	7.03	199
20	90	6.93	2.81	40
30	90	10.13	2.81	27

1	120	0.37	5.46	1490
10	120	3.65	4.22	115
20	120	7.18	2.81	39
30	120	10.50	2.81	26
1	150	0.44	10.94	2514
10	150	4.33	8.44	194
20	150	8.53	5.63	65
30	150	12.47	4.22	33
1	180	0.77	12.86	1677
10	180	7.63	15.47	202
20	180	15.02	12.66	84
30	180	21.96	7.03	32
1	210	0.49	10.94	2249
10	210	4.84	8.44	174
20	210	9.54	5.63	58
30	210	13.94	4.22	30
1	240	0.39	5.46	1404
10	240	3.87	4.22	109
20	240	7.62	2.81	36
30	240	11.14	2.81	25
1	270	0.37	5.69	1538
10	270	3.68	7.03	191
20	270	7.25	2.81	38
30	270	10.59	2.81	26
1	300	0.39	5.46	1404
10	300	3.87	4.22	109
20	300	7.62	2.81	36
30	300	11.15	2.81	25
1	330	0.49	10.94	2246
10	330	4.85	8.44	174
20	330	9.55	5.63	58
30	330	13.96	4.22	30

Average upward intensity per unit luminaire flux at elevat. alpha

alpha	average road intensity	fixture intensity	ratio%
1deg	0.46	8.81	1910
10deg	4.59	7.66	166
20deg	9.04	5.39	59
30deg	13.22	4.45	33

Maximum upward luminaire intensity

per unit lamp flux 11.00 cd/klm at angles C, gamma 0, 100
per unit luminaire flux 15.47 cd/klm at angles C, gamma 0, 100

Maximum upward road intensity (estimate)

per unit lamp flux 18.79 cd/klm at gamma 180 deg
per unit luminaire flux 26.43 cd/klm at gamma 180 deg

Light Pollution, integrated parameters:

reference out-of-road surfaces calculated for:
lambertian reflectance with rho=0.135 in average

direct upward flux ratio UFR % (Rn%): 2.20
road reflected upward flux ratio %: 6.39
(road reflected upward flux ratio for aged asphalt%: 6.24)

out-of-road reflected upward flux ratio %:	5.95
increase of upflux ratio due to direct emission %	34
increase of upflux ratio due to out-road emiss. %	93
direct unit uplight density DUUD (lm/m ²):	0.66
road unit uplight density RUUD (lm/m ²):	1.92
out-of-road unit uplight density WUUD (lm/m ²):	1.79
increase of uplight density due to direct emission %:	34
increase of uplight density due to out-road emiss. %:	93

Light Pollution, emispheric and low-angles scattering parameters

direct scattered flux factor %	1.64
road scattered flux factor %	3.26
out-of-road scattered flux factor %	3.04
increase of scattered flux due to direct emiss. %	50
increase of scattered flux due to out-road emiss.%	93
low-angles direct upward flux factor %	2.08
low-angles road upward flux factor %	2.09
low-angles out-of-road upward flux factor %	1.95
increase of low-angles upward flux due to direct emission %	99
increase of low-angles upward flux due to out-road emission %	93
low-angles direct scattered flux factor %	1.56
low-angles road scattered flux factor %	1.24
low-angles out-of-road scattered flux factor %	1.16
increase of low-angles scattered flux due to direct emission %	125
increase of low-angles scattered flux due to out-road emiss. %	93

One of the tables contained in the file *outdat_roadpoll_xxx.doc* is visible below as an example.

Maintained	Observed	Luminance (cd/m ²)								
observer 1										
y/x	0.00	2.20	4.40	6.60	8.80	11.00	13.20	15.40	17.60	19.80
6.65	0.37	0.36	0.43	0.44	0.45	0.49	0.44	0.48	0.48	0.39
5.95	0.46	0.46	0.54	0.54	0.57	0.64	0.57	0.59	0.60	0.48
5.25	0.56	0.58	0.69	0.69	0.75	0.83	0.75	0.72	0.76	0.59
4.55	0.68	0.74	0.88	0.91	0.99	1.08	1.00	0.90	0.92	0.75
3.85	0.84	0.94	1.14	1.18	1.31	1.41	1.32	1.12	1.10	0.91
3.15	1.04	1.20	1.44	1.50	1.64	1.76	1.58	1.32	1.27	1.08
2.45	1.15	1.30	1.58	1.66	1.80	1.88	1.75	1.38	1.37	1.14
1.75	1.09	1.26	1.50	1.56	1.66	1.76	1.59	1.33	1.29	1.10
1.05	0.89	1.01	1.20	1.25	1.36	1.44	1.32	1.13	1.11	0.92
0.35	0.70	0.77	0.92	0.95	1.03	1.10	1.00	0.91	0.92	0.75

Input and Output files

In addition to the EULUMDAT files with the photometrical data and to the *roadpollution.exe* file, the directory *roadpollution* contains a number of input files, some of which should not be modified by the user. ROADPOLLUTION also produces a number of files in addition to the *report* and *outdat* files. The tables below list the input and output files.

Input Files	
SRT_C1, SRT_C2, SRT_R1, SRT_R2, SRT_R3, SRT_R4	road reflectance of CIE standard surfaces
asphalt_reflectance.dat	asphalt reflectance
header.txt	custom header of the report
grid.dat	details of the computational grids, customizable by the user
extend.txt	When the first line of this file is set to one, ROADPOLLUTION writes the output files for 3D plotting of the upward light intensities. No extended output if it is set to zero.
input_roadpoll.dat	system file created by ROADPOLLUTION containing the input parameters of the last computation

Output files	
report_roadpoll_XXXX.doc	Report with the main results of ROADPOLLUTION
outdat_roadpoll_XXXX.dat	Data tables like the luminance and illuminance distributions on the road surface, etc.
ROTATEDPHOT_XXX.dat	Intensities per unit flux (cd/klm) of the luminaire in its installed position, obtained by spline interpolation. Computed only when the tilt is different from zero.
ROTATEDANGLES_XXXX.dat	Original intensities per unit flux (cd/klm) of the luminaire at each C, gamma angle as given in the EULUMDAT file, together with the corresponding C, gamma angles after luminaire inclination. Computed only when tilt is not zero.
uplmp_XXXX.dat, upro2_XXXX.dat uproa_XXXX.dat, uptot_XXXX.dat upto2_XXXX.dat	Data files used to obtain 3D plots of the upward intensities with MATHEMATICA (see [2] for a description)

Documentation

The reference of this user manual is:

[1] Cinzano, P. 2005, Roadpollution User Manual, ISTIL Int. Report 11, ISTIL, Thiene, available from www.lightpollution.it/roadpollution/

A description of many parameters in the Report can be found in the following document (note that it refers to an old command-line version and many parts have been updated, including road reflection calculation and 3D plotting):

[2] Cinzano, P., Roadpollution: a software to evaluate and understand light pollution from road lighting installations, presented at the CIE TC4-21 (Interference of light on the astronomical observations), CIE Div.4 meeting, Turin, 28 September - 3 October 2002, available from www.lightpollution.it/roadpollution/

For general informations about the effective limitation of light pollution read the paper:

[3] Cinzano, P. (ed.), Technical measures for an effective limitation of the effects of Light pollution, in Proceedings of the international meeting "Light pollution and the Protection of the Night Environment", Venice 3 may 2002, ISTIL, Thiene (2002), ISBN 88-88517-01-4, downloadable in PDF from www.lightpollution.it/istil/venice/index.html

Some computational techniques and formulae used in ROADPOLLUTION are described in the following documents:

[4] CIE Publ. 140 - 2000, Road lighting calculations

[5] EN 13201-3 (2003), Road lighting - Part 3: Calculations of performance

[6] UNI 10439 (2001), Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato

[7] ANSI IESNA RP-8-00 (2000), Roadway Lighting

[8] CIE S015-E (2005), Lighting of work places - outdoor work places

[9] Garstang R. H., 1986, Model for artificial night-sky illumination, Publ. Astron. Soc. Pacific, 98, 364-375

A case study made with the first version of ROADPOLLUTION is also available:

[10] Cinzano, P., Light pollution by luminaires in roadway lighting, paper presented at the CIE TC4-21 (Interference of light on the astronomical observations), CIE Div.4 meeting, Turin, 28 September - 3 October 2002, available from www.lightpollution.it/roadpollution/ See also the slide presentation at the same web address.

Further informations will be published in the FAQ in the ROADPOLLUTION web site www.lightpollution.it/roadpollution/

Download

ROADPOLLUTION can be downloaded from <http://www.lightpollution.it/roadpollution/>

Disclaimer

ROADPOLLUTION is available “as is”. The user uses it at his own risk. In case of professional applications the user should check by himself the accuracy of the results. This is a preview beta version and it is likely not bug-free. It is a by-product of the author’s research activity and no support can be offered. Bug reports and suggestions can be sent to roadpollution@lightpollution.it. I will try to account for them in future versions but no replies will be sent. The software was checked with Norton Antivirus before uploading to the web server.

Roadpollution

MANUALE D'USO

Presentazione

ROADPOLLUTION è un programma per l'analisi degli impianti di illuminazione stradale e per la valutazione dell'impatto ambientale da inquinamento luminoso. Esso produce un rapporto dettagliato che raccoglie moltissimi parametri utili per quantificare la qualità del progetto illuminotecnico, la sua efficacia nel contenere i consumi energetici, la sua corrispondenza ai requisiti necessari per minimizzare l'inquinamento luminoso e la sua rispondenza alla legge contro l'inquinamento luminoso.

ROADPOLLUTION non va considerato un software per la progettazione illuminotecnica, sebbene calcoli tutti i parametri di progetto come la luminanza media mantenuta, l'illuminamento orizzontale, verticale, semicilindrico ed emisferico, l'uniformità generale e longitudinale, l'abbagliamento e la loro distribuzione sulla superficie stradale. Per la progettazione illuminotecnica esistono programmi specifici e certificati, che andrebbero utilizzati assieme a quegli indispensabili programmi di ottimizzazione come EASY LIGHT (www.cielobuio.org). I progettisti illuminotecnici possono trarre vantaggio dall'uso di ROADPOLLUTION per controllare la qualità del loro progetto illuminotecnico e per sperimentare come migliorare il risparmio energetico e il controllo dell'inquinamento luminoso. Quando si ottiene un progetto soddisfacente, il rapporto prodotto da ROADPOLLUTION può essere allegato al progetto illuminotecnico, così da rappresentare un "valore aggiunto". Esso aiuta il progettista ad evidenziare e testimoniare le buone caratteristiche dell'impianto progettato nei confronti del committente, della pubblica opinione e degli ambientalisti.

ROADPOLLUTION è utile anche per chi è coinvolto nella sorveglianza dell'inquinamento luminoso e degli impianti, in quanto consente di verificare il risparmio energetico e l'impatto ambientale di un impianto di illuminazione stradale in base a quei due documenti fondamentali che dovrebbero sempre seguire l'impianto stesso: il progetto illuminotecnico e la fotometria degli apparecchi utilizzati. In mancanza del primo, i parametri di input del programma si possono ottenere con un'ispezione dell'impianto. Un risultato favorevole dell'analisi di un pro-

getto illuminotecnico non assicura che l'impianto reale sia altrettanto valido. E' compito del collaudo verificare la rispondenza dell'impianto al progetto illuminotecnico, rispondenza che va sempre accertata nel caso di una eventuale successiva verifica.

La rispondenza di un impianto alle leggi contro l'inquinamento luminoso dovrebbe poter essere direttamente verificabile sulla base dei due documenti sopra citati, progetto e fotometrie, e quindi non dovrebbe richiedere l'uso di ROADPOLLUTION. Tuttavia questo programma è insostituibile per verificare la consistenza e l'accuratezza del progetto, per calcolare parametri eventualmente mancanti nel progetto illuminotecnico o per sopperire alla possibile mancanza del progetto illuminotecnico stesso. Inoltre il rapporto prodotto da ROADPOLLUTION costituisce una preziosissima "carta di identità" dell'impianto di illuminazione, dove tutti i parametri utili sono raccolti in un modulo uniforme.

Installazione

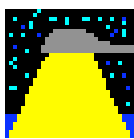
ROADPOLLUTION richiede un PC con Windows XP. Dovrebbe funzionare anche sotto Windows 98/NT/2000 ma non è stato testato sotto queste versioni.

ROADPOLLUTION non richiede installazione. E' sufficiente decomprimere il file *roadpollution.zip* nella cartella desiderata del proprio disco rigido.

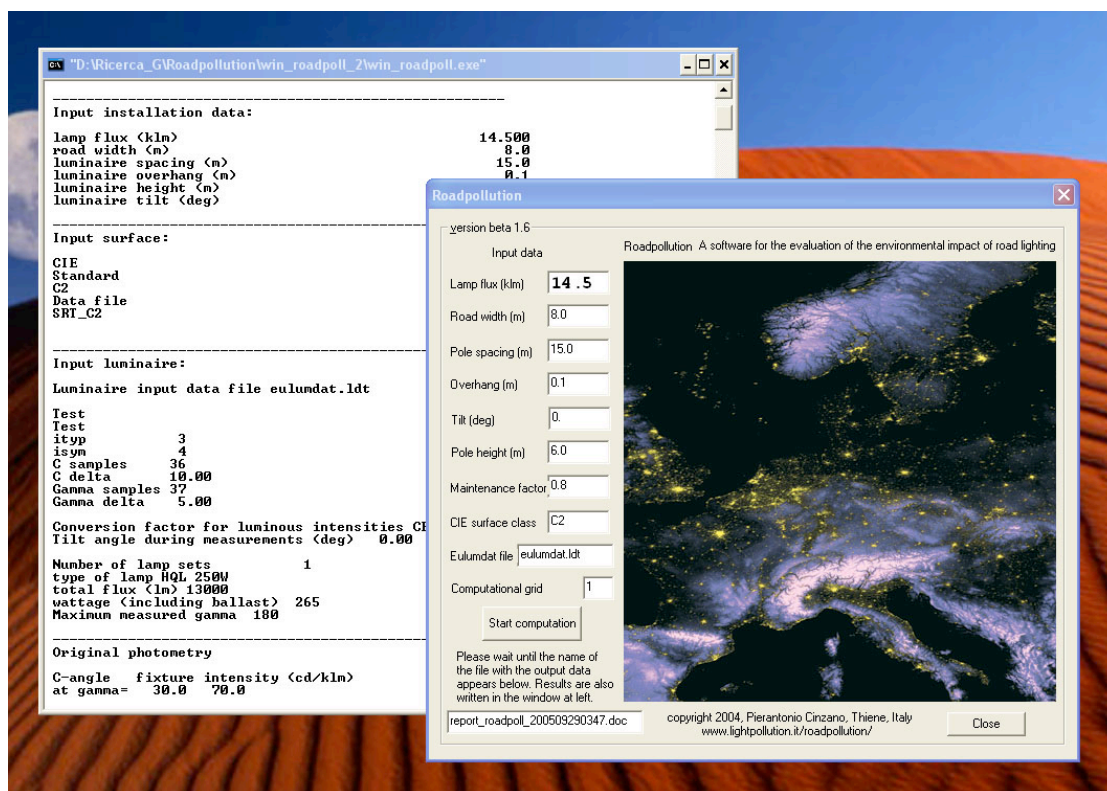
I file con i dati fotometrici degli apparecchi devono essere copiati nella stessa cartella. Un file *eulumdat.ldt* di esempio è già incluso per chi desidera provare il programma.

Se si desidera un collegamento al programma nel proprio desktop o nel Menu Avvio di Windows, è sufficiente trascinare il file *roadpollution.exe* nella posizione desiderata tenendo premuto il tasto destro e scegliere "collegamento" nel menu che si apre alla fine (non scegliere "sposta").

Uso



Per eseguire ROADPOLLUTION fare doppio clic sul file *roadpollution.exe* o nel collegamento fatto nel Menu di Avvio. Il file è identificato dall'icona a sinistra. Si aprono due finestre. Quella più a destra mostra gli spazi dove inserire i parametri di input e il bottone per avviare il calcolo. Quella di sinistra mostra i risultati mano a mano che il programma li calcola.



L'utente deve scrivere i parametri dell'impianto di illuminazione in valutazione e quindi premere "Start computation". I dati richiesti sono:

- 1) Flusso luminoso della lampada in kilolumen. Il valore può essere minore del flusso standard della lampada qualora si assuma che un regolatore di flusso è attivo nel sistema.
- 2) Larghezza della strada in metri.
- 3) Distanza dei pali in metri.
- 4) Avanzamento dell'apparecchio di illuminazione rispetto al bordo della strada in metri.
- 5) Inclinazione degli apparecchi in gradi. L'inclinazione dovrebbe sempre essere zero in impianti di illuminazione attenti a minimizzare l'inquinamento luminoso. Tuttavia i limiti all'intensità luminosa per unità di flusso consentiti da alcune leggi (compresa la LR22 della Lombardia) sono tali da consentire ad alcuni apparecchi una piccola inclinazione e quindi questa possibilità è stata inclusa nel software. L'inclinazione è intesa "rispetto alla posizione dell'apparecchio con cui è stata ottenuta la fotometria nel file *eulumdat*". Quest'ultima posizione in qualche caso potrebbe non corrispondere alla "posizione d'uso suggerita" o alla posizione in cui l'ottica ha inclinazione zero.
- 6) Altezza dei sostegni in metri.
- 7) Fattore di mantenimento che tiene conto, fra l'altro, del deprezzamento della lampada.

8) Tipo di superficie stradale secondo la classificazione CIE (C₁, C₂, R₁, R₂, R₃, R₄). Di solito in Italia si usa la C₂ (asfalto scuro).

9) Nome del file contenente la fotometria degli apparecchi in formato *eulumat* per la combinazione utilizzata di apparecchio, lampada, ottica e posizione della lampada. Si veda la nota nel box sottostante.

10) Griglia di calcolo: 1 per UNI 10439; 2 per CIE 140 (2000) ed EN 13201-3 (2004); 3 per ANSI-IESNA RP-8-00; 4 per una griglia ad alta risoluzione 100 x 50; da 5 a 9 per griglie personalizzate dall'utente editando il file *grid.dat*.

Il calcolo dura da pochi secondi a qualche minuto a seconda delle dimensioni della griglia.

ROADPOLLUTION scrive un dettagliato Rapporto nel file *report_roadpoll_XXXX.doc*. Il nome del file contiene un codice numerico che identifica ciascun ciclo di calcolo in base alla data e all'ora, visibile in entrambe le finestre quando il calcolo è completato. Per non sovrascrivere i file, in alcuni computer può essere necessario attendere almeno un minuto prima di avviare il calcolo successivo. L'intestazione del Rapporto può essere personalizzata col proprio nome o quello del proprio ente, editando le prime 5 righe del file *header.txt* (massimo 80 caratteri).

ROADPOLLUTION produce anche il file *outdat_roadpoll_XXXX.doc* che contiene varie tabelle fra cui le distribuzioni sulla superficie stradale della luminanza, dell'illuminamento orizzontale e semicilindrico, della luminanza velante, glare index, ecc. Nonostante l'estensione *.doc* questi file sono in formato testo (txt) e possono essere aperti con qualunque editor come NOTEPAD, WORDPAD, WORD. Gli altri file sono descritti più avanti.

L'utente responsabile dovrebbe verificare riga per riga che il file dei dati fotometrici sia conforme al formato EULUMDAT per evitare errori. Si veda [2] per una descrizione del formato EULUMDAT. ROADPOLLUTION richiede dati corretti alle righe 2, 3, 4, 5, 6, 7, 28, 29, 32, 43, 44, 45 (identificate in [2] come 2, 3, 4, 5, 6, 7, 26b, 26c, 26f, 28, 29, 30). Le righe 22, 23, 24, 25 devono contenere almeno uno zero, la riga 26 un 1 e le altre un carattere qualsiasi. I dati fotometrici in formato IES (BSR/IESNA Publ. LM-63-2002) possono essere convertiti in EULUMDAT con PHOTOMETRIC TOOLBOX di Lighting Analysts, Inc. o con il freeware IES2TAB del Prof. Jan Hollan.

ROADPOLLUTION è fatto per strade con due corsie ma può essere usato per strade più complesse se l'utente imposta opportunamente le dimensioni della griglia e le posizioni dell'osservatore nel file *grid.dat*. Per impianti con disposizioni diverse da quelle stradali, esso consente di ottenere informazioni sui soli parametri che dipendono dalla fotometria degli apparecchi e dalla loro inclinazione impostando un impianto stradale fittizio. Gli altri risultati vanno scartati.

Quali sono i parametri più interessanti?

Il rapporto prodotto da ROADPOLLUTION contiene moltissimi parametri. Qui riassumerò i più interessanti, molti dei quali sono spesso trascurati nella usuale progettazione illuminotecnica. Un esempio di Rapporto è visibile nella prossima sezione con detti parametri evidenziati in rosso.

Per minimizzare efficacemente l'inquinamento luminoso occorre che (1) la luce riflessa dalle superfici illuminate sia limitata al minimo realmente necessario, senza sovra-illuminare; (2) l'emissione luminosa verso l'alto da parte degli apparecchi di illuminazione sia minimizzata; (3) la luce emessa verso il basso al di fuori delle superfici da illuminare sia minimizzata il più possibile, in modo che la luce da esse riflessa verso l'alto sia anch'essa il più piccola possibile.

Una delle principali regole per minimizzare l'inquinamento luminoso e per massimizzare il risparmio energetico è quella di non sovra-illuminare. Quindi per prima cosa occorre verificare che la **luminanza media mantenuta** della superficie stradale non sia né maggiore né minore di quanto prescritto dalle norme di sicurezza per quella classe di strada. Una luminanza maggiore del necessario implica maggiore consumo energetico e più inquinamento luminoso dovuto alla riflessione di luce da parte della superficie stradale. Questo in genere è specificatamente richiesto dalle buone leggi contro l'inquinamento luminoso (ad es. dalla maggioranza delle leggi regionali contro l'inquinamento luminoso in Italia). Per alcuni tipi di impianto, come ad esempio aree pedonali, le norme di sicurezza fanno riferimento all'**illuminamento mantenuto** invece che alla luminanza e quindi sarà questa la quantità da verificare. Se la luminanza o l'illuminamento sono più elevati del dovuto, il progetto illuminotecnico dovrebbe essere rivisto. In territori dove le leggi contro l'inquinamento luminoso obbligano all'uso di riduttori di flusso per ridurre la luminanza/illuminamento dopo una certa ora, essi possono venire usati anche per piccoli aggiustamenti del loro valore massimo.

Per verificare il risparmio energetico di un impianto di illuminazione, due quantità fondamentali sono il **flusso installato per unità di lunghezza per luminanza unitaria** e il **flusso installato per unità di area per luminanza unitaria** (chiamato anche efficacia fotometrica o **rendimento fotometrico dell'impianto**). Il primo è utile per confrontare più progetti per la stessa strada ed il secondo è migliore per confrontare progetti per strade di diversa larghezza. Queste quantità dovrebbero essere le più piccole possibile. Buoni impianti con apparecchi totalmente schermati dovrebbero essere almeno sotto 300 klm/km per cd/m² e 40 lm/cd per un coefficiente di mantenimento pari a 0.8, oppure sotto circa 240 klm/km per cd/m² e 32 lm/cd quando ci si riferisce alla luminanza iniziale. I migliori valori riportati in letteratura per

apparecchi totalmente schermati sono sotto 200 klm/km per cd/m² e 25 lm/cd, riferiti alla luminanza iniziale.

Se il rendimento fotometrico è troppo elevato, un parametro fondamentale per determinarne le cause è l'**utilanza** o **frazione del flusso dell'impianto effettivamente inviata sulla strada**, che fornisce informazioni dirette sulla quantità di luce che il progetto illuminotecnico fa inviare sulla strada e fuori dalla strada. La riduzione della quantità di luce che finisce fuori dalla strada, cioè la massimizzazione dell'utilanza, non è soltanto il modo più efficace per ridurre i consumi energetici, ma permette anche di ridurre l'inquinamento luminoso inutilmente prodotto dalla riflessione della luce da parte di superfici che non dovrebbero essere illuminate. Il **rendimento degli apparecchi** (frazione della luce della lampada che esce realmente dall'apparecchio) è un parametro meno importante perché un apparecchio di scarso rendimento potrebbe essere capace di mandare una maggiore frazione della luce sulla strada mentre uno con maggiore rendimento potrebbe essere capace di inviare sulla strada meno luce. Tuttavia vale la pena di dare un'occhiata al **rendimento verso il basso degli apparecchi** (downward light output ratio DLOR). Infatti, difficilmente un apparecchio con rendimento inferiore all'intervallo tipico 65%-80% consente un progetto illuminotecnico con buon rendimento fotometrico. Il **coefficiente di utilizzazione** (utilanza moltiplicata per il rendimento degli apparecchi, espresso come frazione) è un altro parametro utile ma mescola l'utilanza, che dipende dal disegno del progetto dell'impianto, con il rendimento degli apparecchi, che dipende dalla scelta degli stessi. E' preferibile analizzarli separatamente e ricercare il massimo per ognuno dei due.

L'**efficienza delle lampade** fornisce un'altra informazione importante sul risparmio energetico. Essa dovrebbe sempre essere la maggiore possibile per la classe di lampade richiesta dal tipo di illuminazione. ROADPOLLUTION la calcola in base ai dati del file EULUMDAT. Se l'impianto utilizza una lampada simile ma non esattamente la stessa, l'efficienza potrebbe essere diversa. L'utilizzatore attento dovrebbe verificare questa informazione prima di utilizzarla.

Il prodotto dell'efficacia fotometrica con l'efficienza delle lampade dà la **potenza installata per unità di lunghezza per luminanza unitaria** o la **potenza installata per unità di area per luminanza unitaria** (talvolta detto **rendimento energetico**). Anche se questi possono sembrare parametri più significativi del rendimento fotometrico dell'impianto, è preferibile valutare separatamente quest'ultimo e l'efficienza delle lampade perché il primo dipende da come è disegnato il progetto illuminotecnico mentre la seconda dipende dalla scelta delle lampade. Il progettista dovrebbe ottenere il meglio per ciascuno dei due. Il rendimento ener-

getico può diventare importante, come parametro unitario, se si devono confrontare, ad esempio, un impianto con sostegni bassi, apparecchi a largo spread e lampade poco potenti con un impianto con sostegni alti, apparecchi a stretto spread e lampade più potenti. In questo caso il solo rendimento fotometrico dell'impianto non consente un corretto confronto perché l'efficienza delle lampade varia con la loro potenza anche se sono dello stesso tipo. Anche qui è necessario verificare l'efficienza delle lampade realmente adottate prima di utilizzare il valore fornito da ROADPOLLUTION.

Un parametro non legato al consumo energetico bensì alle spese di installazione e di manutenzione è il **numero di apparecchi per unità di lunghezza di strada**. E' meno importante del rendimento fotometrico dell'impianto perché un maggior risparmio energetico deve essere preferito ad un minore numero di apparecchi. Infatti di solito il maggiore risparmio energetico ammortizza le maggiori spese di installazione in una frazione della vita dell'impianto.

Un'occhiata al **threshold increment TI** e al **glare rating GR** da informazioni sulla cura che il progettista illuminotecnico ha dedicato al controllo del disturbo prodotto dall'abbagliamento. Il TI massimo non dovrebbe superare 10 o 15 a seconda del tipo di strada mentre il GR massimo dovrebbe essere sotto 55 per percorsi pedonali. Si faccia riferimento alle norme tecniche per i valori specifici.

L'inquinamento luminoso prodotto dalla luce artificiale emessa verso l'alto dagli apparecchi di un impianto di illuminazione dipende dalla direzione di emissione della luce. Emissioni a bassi angoli gamma, poco sopra l'orizzonte, sono particolarmente efficaci nel produrre gli effetti negativi dell'inquinamento luminoso perché si propagano più lontano e si sommano più efficacemente. Quindi parametri integrati, che non tengono conto della direzione di propagazione della luce, come ad esempio la percentuale di flusso luminoso emesso verso l'alto, sono poco utili e vanno considerati obsoleti. Un buon modo per valutare l'inquinamento luminoso dovuto all'emissione diretta da parte degli apparecchi di un impianto è quello di guardare alla tabella della **intensità verso l'alto per unità di flusso dell'apparecchio** (cd/klm). Essa fornisce, per una serie di direzioni definite dall'altezza alfa e dall'azimut omega, l'intensità dell'emissione verso l'alto dell'apparecchio e, per confronto, quella media della strada. Fornisce inoltre il loro rapporto percentuale. Si può considerare minimizzata l'emissione verso l'alto degli apparecchi quando essa è inferiore al 10% di quella della strada (assumendo che quest'ultima non sia sovrailluminata).

L'**intensità massima per unità di flusso dell'apparecchio** consente di verificare la rispondenza dell'impianto ai limiti richiesti dalle leggi contro l'inquinamento luminoso, ove esi-

stenti. Le leggi regionali di alcune regioni italiane adottano un limite di 0.49 cd/klm per gamma 90 gradi ed oltre, per qualsiasi tipo di impianto con poche eccezioni. L'utilizzatore dovrebbe verificare se il limite a cui ottemperare è dato come *intensità per unità di flusso dell'apparecchio* o come *intensità per unità di flusso della lampada*. Il primo è dato dal secondo diviso per il rendimento dell'apparecchio (LORL) ed è quello che ha senso per limitare l'inquinamento luminoso per cui è solitamente quello adottato. In alcuni casi (ad es. le leggi di Lazio e Campania) i limiti sono diversi a seconda dell'intervallo di angolo gamma. In questo caso la rispondenza dell'impianto va verificata con un'ispezione manuale dei dati fotometrici. Quando l'inclinazione degli apparecchi è zero, è sufficiente esaminare il file *eulmdat* con i dati fotometrici (eventualmente dividendo i valori *per unità di flusso della lampada* per il LORL se i limiti sono dati *per unità di flusso dell'apparecchio*). Quando l'apparecchio è inclinato, ROADPOLLUTION produce due appositi file per questo scopo. *ROTATEDPHOT_* fornisce le intensità dell'apparecchio inclinato, sia *per unità di flusso dell'apparecchio* che *per unità di flusso della lampada*, interpolati sulla griglia di angoli C e gamma. Esso consente di riconoscere rapidamente se in qualche direzione il limite è superato. Se il limite è superato di poco, l'incertezza dovuta all'interpolazione non può essere trascurata. In questo caso si dovrebbe usare il file *ROTATEDANGLES*. Esso fornisce la fotometria originale non interpolata, sia *per unità di flusso dell'apparecchio* che *per unità di flusso della lampada*, gli angoli C e gamma originali e gli angoli C e gamma che ad essi corrispondono dopo l'inclinazione dell'apparecchio. In questo caso i dati non sono regolarmente distribuiti sulla griglia ma almeno non c'è rischio di errore di interpolazione.

Infine, sebbene le quantità integrate non siano efficaci per valutare l'inquinamento luminoso, può essere interessante dare un'occhiata a due di esse che sono molto più appropriate che non quantità obsolete come la percentuale di flusso verso l'alto. Lo *upward scattered flux factor* ed il *low-angle upward scattered flux factor* danno la quantità di flusso emesso verso l'alto e diffuso da molecole ed aerosoli lungo il percorso della luce in un'atmosfera limpida standard, espresse rispetto al flusso totale emesso dall'apparecchio. Il primo fattore è calcolato per l'intero emisfero superiore mentre il secondo, più interessante, è calcolato per emissioni ad angoli piccoli sopra l'orizzonte (angolo gamma 90-120 gradi) ai quali l'inquinamento luminoso è particolarmente propagativo e addittivo. E' interessante confrontare questi fattori per i casi di (a) emissione diretta da parte degli apparecchi (inquinamento da minimizzare); (b) riflessione da superfici illuminate da luce dispersa fuori dalla strada (altro inquinamento da minimizzare) con gli analoghi fattori per il caso della riflessione da parte della superficie stradale (il solo inquinamento realmente inevitabile). **L'incremento del flusso diffuso in**

atmosfera dovuto all'emissione diretta degli apparecchi e l'incremento del flusso diffuso in atmosfera dovuto a riflessione da superfici al di fuori della strada rispetto al flusso diffuso in atmosfera prodotto dalla riflessione della strada non dovrebbero mai superare il 10%, sia nel caso emisferico che in quello "a bassi angoli". Occorre tuttavia considerare che la luce dispersa sulle superfici circostanti la strada e la conseguente riflessione verso l'alto, sono molto difficili da controllare così tanto. Per questo motivo le leggi contro l'inquinamento luminoso *per ora* non prevedono limiti precisi all'intensità media dell'emissione verso l'alto delle superfici non stradali che non dovrebbero essere illuminate.

E' possibile limitare il calcolo alla sola rotazione della fotometria degli apparecchi (i file *ROTATEDPHOT_* e *ROTATEDANGLES_*) impostando una distanza dei sostegni pari a zero.

Esempio di rapporto

Qui sotto è visibile un esempio di Rapporto. I parametri più interessanti descritti nella precedente sezione sono evidenziati in rosso e l'intestazione personalizzabile in blu.

Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso

via Roma 13, 36016 Thiene, Italy

tel +39 0445 381899

Dr. Pierantonio Cinzano

REPORT

Analysis of the environmental impact of
light pollution from a road lighting installation

Creator:

ROADPOLLUTION, software for the evaluation of the
environmental impact of light pollution from road
lighting and the analysis of lighting installations

copyright 2002,2005 Pierantonio Cinzano, Thiene
www.lightpollution.it/roadpollution/

Date 20051001
Time 0155
Filename report_roadpoll_200510010155.doc

Input installation data:

lamp flux (klm)	6.500
road width (m)	7.0
luminaire spacing (m)	22.0
luminaire overhang (m)	2.5
luminaire height (m)	7.0
luminaire tilt (deg)	0.0

Input surface:

CIE
Standard

C2
Data file
SRT_C2

Input luminaire:

Luminaire input data file eulumda2.ldt

Test
ityp 3
isym 4
C samples 36
C delta 10.00
Gamma samples 37
Gamma delta 5.00

Conversion factor for luminous intensities CFLI 1.0000
Tilt angle during measurements (deg) 0.00

Number of lamp sets 1
type of lamp HQL 250W
total flux (lm) 13000
wattage (including ballast) 265
Maximum measured gamma 180

Luminaire emission data from Eulumdat file (std. position):

Downward flux factor DFF %	98.00
Upward flux factor UFF % (UFR, Rn)	2.00
Light output ratio of the luminaire LORL %	73.00
Downward light output ratio DLOR %	71.54
Upward light output ratio ULOR %	1.46

Luminaire emission data (calculated):

Downward flux factor DFF %	97.80
Upward flux factor UFF % (UFR, Rn)	2.20
Light output ratio of the luminaire LORL %	71.10
Downward light output ratio DLOR %	69.54
Upward light output ratio ULOR %	1.57

Grid data:

adopted grid UNI 10439 (Italy)	
luminaire spacing (m)	22.00
luminaire spacing ratio (m)	3.14
luminaire tilt for computation (deg)	0.00
road width (m)	7.00
grid points along X	10
grid points along Y	10
grid dX (m)	2.20
grid dY (m)	0.70

```

points along X start at border
first/last grid point x= 0.0, x= 19.80
points along Y start at half cellsize from the border
first/last grid point y= 0.35, y= 6.65
luminaire at x=0.0, y= 2.50
observer 1 at z= 1.50, x=-60.00, y= 1.75
observer 2 at z= 1.50, x=-60.00, y= 5.25

-----
Road lighting parameters:

Lamp flux maintenance factor q                                0.80

observer at infinity
average maintained luminance L_ave (cd/m^2):                  1.07

observer 1
maintained luminance L (cd/m^2):
average:                                                    1.01
rms:                                                            0.39
minimum:                                                         0.36
maximum:                                                         1.88
overall uniformity U_0 (min/ave):                              0.36
lengthwise uniformity U_L:                                     0.62

observer 2
maintained luminance L (cd/m^2):
average:                                                    1.02
rms:                                                            0.37
minimum:                                                         0.40
maximum:                                                         1.84
overall uniformity U_0 (min/ave):                              0.40
lengthwise uniformity U_L:                                     0.69

maintained horizontal illuminance E (lx):
average:                                                    12.89
rms:                                                            2.96
minimum:                                                         6.93
maximum:                                                         17.93
min/ave:                                                         0.54
min/max:                                                         0.39

average luminance per unit illuminance)(cd/lm)
(luminance coefficient)
at infinity:                                                    0.083
observed:                                                        0.078
average illuminance per unit luminance K (lx/cd/m^2)
at infinity:                                                    12.07
observed:                                                        12.83

veiling luminance on the road (cd/m^2):
maximum:                                                         0.22
average:                                                         0.09
minimum:                                                         0.05

threshold increment TI %:
maximum (both observers):                                    10.75

```


maximum (observer 1):	10.75
maximum (observer 2):	8.68
glare rating index GR:	
maximum:	40.44
average:	30.85
minimum:	24.41
maintained semicilindrical illuminance Esc (lx):	
minimum:	0.80
average:	5.15
maximum:	11.59
maintained vertical illuminance Ev (lx):	
minimum:	0.89
average:	7.60
maximum:	18.21
maintained hemispherical illuminance Ehs (lx):	
minimum:	5.11
average:	8.20
maximum:	10.69
min/ave:	0.62

Energy and cost parameters:

utilization factor (flux on the road/lamp flux):	0.382
used fraction of the luminaire flux %:	53.69
wasted fraction of the luminaire flux %:	46.31
used fraction of the downward flux %:	54.90
wasted fraction of the downward flux %:	45.10
luminaires per km:	45.45
installed lamp flux per unit length (klm/km):	295.45
installed lamp flux per unit area (lm/m ²):	42.21
installed lamp flux per unit length per unit luminance	
initial (klm/km)/(cd/m²) :	233.94
maintained (klm/km)/(cd/m²):	292.42
installed lamp flux per unit area per unit luminance	
(initial photometric efficacy, lm/cd) :	33.42
(maintained photometric efficacy, lm/cd):	41.77
installed power per unit length per unit luminance	
(kW/km)/(cd/m²):	5.96
installed power per unit area per unit luminance	
(energetic efficacy, W/cd):	0.85
evaluated for lampHQL 250W	
with lamp efficacy (including ballast) 49.1 lm/w	

Light Pollution, direction dependent parameters:

Average maintained luminance at azimuth omega	
Azimuth (deg)	luminance (cd/m ²)
0	1.068

10	0.852
20	0.682
30	0.600
40	0.554
50	0.524
60	0.504
70	0.493
80	0.488
90	0.486
100	0.488
110	0.493
120	0.504
130	0.524
140	0.553
150	0.599
160	0.679
170	0.842
180	1.055
190	0.979
200	0.789
210	0.669
220	0.603
230	0.562
240	0.535
250	0.520
260	0.512
270	0.509
280	0.512
290	0.520
300	0.535
310	0.562
320	0.604
330	0.670
340	0.791
350	0.984

**Upward intensity per unit luminaire flux (cd/klm)
at elevation alpha and azimuth omega**

alpha(deg)	omega(deg)	road intensity	fixture intensity	ratio%
1	0	0.78	12.86	1656
10	0	7.72	15.47	200
20	0	15.21	12.66	83
30	0	22.24	7.03	31
1	30	0.44	10.94	2508
10	30	4.34	8.44	194
20	30	8.55	5.63	65
30	30	12.50	4.22	33
1	60	0.37	5.46	1490
10	60	3.65	4.22	115
20	60	7.18	2.81	39
30	60	10.50	2.81	26
1	90	0.35	5.69	1608
10	90	3.52	7.03	199
20	90	6.93	2.81	40
30	90	10.13	2.81	27
1	120	0.37	5.46	1490
10	120	3.65	4.22	115

20	120	7.18	2.81	39
30	120	10.50	2.81	26
1	150	0.44	10.94	2514
10	150	4.33	8.44	194
20	150	8.53	5.63	65
30	150	12.47	4.22	33
1	180	0.77	12.86	1677
10	180	7.63	15.47	202
20	180	15.02	12.66	84
30	180	21.96	7.03	32
1	210	0.49	10.94	2249
10	210	4.84	8.44	174
20	210	9.54	5.63	58
30	210	13.94	4.22	30
1	240	0.39	5.46	1404
10	240	3.87	4.22	109
20	240	7.62	2.81	36
30	240	11.14	2.81	25
1	270	0.37	5.69	1538
10	270	3.68	7.03	191
20	270	7.25	2.81	38
30	270	10.59	2.81	26
1	300	0.39	5.46	1404
10	300	3.87	4.22	109
20	300	7.62	2.81	36
30	300	11.15	2.81	25
1	330	0.49	10.94	2246
10	330	4.85	8.44	174
20	330	9.55	5.63	58
30	330	13.96	4.22	30

Average upward intensity per unit luminaire flux at elevat. alpha
alpha average road intensity fixture intensity ratio%

1deg	0.46	8.81	1910
10deg	4.59	7.66	166
20deg	9.04	5.39	59
30deg	13.22	4.45	33

Maximum upward luminaire intensity

per unit lamp flux 11.00 cd/klm at angles C, gamma 0, 100
per unit luminaire flux 15.47 cd/klm at angles C, gamma 0, 100

Maximum upward road intensity (estimate)

per unit lamp flux 18.79 cd/klm at gamma 180 deg
per unit luminaire flux 26.43 cd/klm at gamma 180 deg

Light Pollution, integrated parameters:

reference out-of-road surfaces calculated for:
lambertian reflectance with rho=0.135 in average

direct upward flux ratio UFR % (Rn%):	2.20
road reflected upward flux ratio %:	6.39
(road reflected upward flux ratio for aged asphalt%:	6.24)
out-of-road reflected upward flux ratio %:	5.95
increase of upflux ratio due to direct emission %	34

increase of upflux ratio due to out-road emiss. %	93
direct unit uplight density DUUD (lm/m ²):	0.66
road unit uplight density RUUD (lm/m ²):	1.92
out-of-road unit uplight density WUUD (lm/m ²):	1.79
increase of uplight density due to direct emission %:	34
increase of uplight density due to out-road emiss. %:	93

Light Pollution, emispheric and low-angles scattering parameters

direct scattered flux factor %	1.64
road scattered flux factor %	3.26
out-of-road scattered flux factor %	3.04
increase of scattered flux due to direct emiss. %	50
increase of scattered flux due to out-road emiss.%	93
low-angles direct upward flux factor %	2.08
low-angles road upward flux factor %	2.09
low-angles out-of-road upward flux factor %	1.95
increase of low-angles upward flux due to direct emission %	99
increase of low-angles upward flux due to out-road emission %	93
low-angles direct scattered flux factor %	1.56
low-angles road scattered flux factor %	1.24
low-angles out-of-road scattered flux factor %	1.16
increase of low-angles scattered flux due to direct emission %	125
increase of low-angles scattered flux due to out-road emiss. %	93

Una delle tabelle contenute in *outdat_roadpoll_XXXX.doc* è visibile qui sotto come esempio.

Maintained Observed Luminance (cd/m²)

observer 1

y/x	0.00	2.20	4.40	6.60	8.80	11.00	13.20	15.40	17.60	19.80
6.65	0.37	0.36	0.43	0.44	0.45	0.49	0.44	0.48	0.48	0.39
5.95	0.46	0.46	0.54	0.54	0.57	0.64	0.57	0.59	0.60	0.48
5.25	0.56	0.58	0.69	0.69	0.75	0.83	0.75	0.72	0.76	0.59
4.55	0.68	0.74	0.88	0.91	0.99	1.08	1.00	0.90	0.92	0.75
3.85	0.84	0.94	1.14	1.18	1.31	1.41	1.32	1.12	1.10	0.91
3.15	1.04	1.20	1.44	1.50	1.64	1.76	1.58	1.32	1.27	1.08
2.45	1.15	1.30	1.58	1.66	1.80	1.88	1.75	1.38	1.37	1.14
1.75	1.09	1.26	1.50	1.56	1.66	1.76	1.59	1.33	1.29	1.10
1.05	0.89	1.01	1.20	1.25	1.36	1.44	1.32	1.13	1.11	0.92
0.35	0.70	0.77	0.92	0.95	1.03	1.10	1.00	0.91	0.92	0.75

Input e Output file

Oltre ai file EULUMDAT con i dati fotometrici e al programma *roadpollution.exe*, la cartella *roadpollution* contiene vari input file. ROADPOLLUTION inoltre produce vari file oltre ai già citati *report* e *outdat*. La tabella qui sotto elenca questi file.

Input File	
SRT_C1, SRT_C2, SRT_R1, SRT_R2, SRT_R3, SRT_R4	road reflectance of CIE standard surfaces
asphalt_reflectance.dat	asphalt reflectance
header.txt	custom header of the report
grid.dat	details of the computational grids, customizable by the user
extend.txt	When the first line of this file is set to one, ROADPOLLUTION writes the output files for 3D plotting of the upward light intensities. No extended output if it is set to zero.
input_roadpoll.dat	system file created by ROADPOLLUTION containing the input parameters of the last computation

Output file	
report_roadpoll_XXXX.doc	Report with the main results of ROADPOLLUTION
outdat_roadpoll_XXXX.dat	Data tables like the luminance and illuminance distributions on the road surface, etc.
ROTATEDPHOT_XXX.dat	Intensities per unit flux (cd/klm) of the luminaire in its installed position, obtained by spline interpolation. Computed only when the tilt is different from zero.
ROTATEDANGLES_XXXX.dat	Original intensities per unit flux (cd/klm) of the luminaire at each C, gamma angle as given in the EULUMDAT file, together with the corresponding C, gamma angles after luminaire inclination. Computed only when tilt is not zero.
uplmp_XXXX.dat, upro2_XXXX.dat uproa_XXXX.dat, uptot_XXXX.dat upto2_XXXX.dat	Data files used to obtain 3D plots of the upward intensities with MATHEMATICA (see [2] for a description)

Documentazione

Il riferimento di questo manuale è:

[1] Cinzano, P. 2005, Roadpollution User Manual, ISTIL Int. Report 11, ISTIL, Thiene, available from www.lightpollution.it/roadpollution/

Una descrizione di molti dei parametri del Rapporto si può trovare nel documento seguente (si noti tuttavia che esso si riferisce ad una precedente versione del software, a linea di comando, e che molte parti del programma sono state aggiornate, incluso il calcolo della riflessione stradale, della grafica tridimensionale e di alcuni parametri):

[2] Cinzano, P., Roadpollution: a software to evaluate and understand light pollution from road lighting installations, presented at the CIE TC4-21 (Interference of light on the astronomical observations), CIE Div.4 meeting, Turin, 28 September - 3 October 2002, available from www.lightpollution.it/roadpollution/

Per informazioni sui metodi per una efficace limitazione dell'inquinamento luminoso si veda:

[3] Cinzano, P. (ed.), Technical measures for an effective limitation of the effects of Light pollution, in Proceedings of the international meeting "Light pollution and the Protection of the Night Environment", Venice 3 may 2002, ISTIL, Thiene (2002), ISBN 88-88517-01-4, downloadable in PDF from www.lightpollution.it/istil/venice/index.html

Le principali formule e tecniche di calcolo utilizzate da ROADPOLLUTION sono descritte nei seguenti documenti:

[4] CIE Publ. 140 - 2000, Road lighting calculations

[5] EN 13201-3 (2003), Road lighting - Part 3: Calculations of performance

[6] UNI 10439 (2001), Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato

[7] ANSI IESNA RP-8-00 (2000), Roadway Lighting

[8] CIE S015-E (2005), Lighting of work places - outdoor work places

[9] Garstang R. H., 1986, Model for artificial night-sky illumination, Publ. Astron. Soc. Pacific, 98, 364-375

E' disponibile anche uno studio fatto con la prima versione di ROADPOLLUTION:

[10] Cinzano, P., Light pollution by luminaires in roadway lighting, paper presented at the CIE TC4-21 (Interference of light on the astronomical observations), CIE Div.4 meeting, Turin, 28 September - 3 October 2002, available from www.lightpollution.it/roadpollution/ See also the slide presentation at the same web address.

Ulteriori informazioni saranno pubblicate nelle FAQ del sito web di ROADPOLLUTION :www.lightpollution.it/roadpollution/

Download

ROADPOLLUTION si può scaricare da <http://www.lightpollution.it/roadpollution/>

Nota importante

ROADPOLLUTION è disponibile “così com’è”. L’utente lo usa a proprio rischio e l’autore non si assume alcuna responsabilità. Soprattutto in caso di applicazioni professionali, l’utente è tenuto a verificare l’accuratezza dei risultati prima di utilizzarli. Questa è una versione beta preview ed ragionevole pensare che non sia priva di bachi. Si tratta di un sottoprodotto delle varie attività di ricerca dell’autore che non può offrire alcun tipo di supporto agli utenti. Bug reports e suggerimenti si possono inviare a roadpollution@lightpollution.it. L’autore tenterà di tenerne conto nelle future versioni ma NON replicherà ai messaggi. Eventuali repliche di particolare rilievo verranno pubblicate nelle FAQ. Il programma è stato controllato con Norton Antivirus prima di caricarlo nel web server.

