



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità

A.A. 2024/2025

Sessione di Laurea Febbraio 2025

Luce per la mobilità lenta

Analisi sperimentale dell'illuminazione per le
piste ciclabili di Torino

Relatrice

Anna Pellegrino

Correlatrici

Lodovica Valetti

Rossella Taraglio

Candidata

Teresa Vinciguerra

INDICE

Abstract	6
Introduzione	8
1. La Mobilità lenta	12
1.1 La bicicletta come mezzo di trasporto: attualità e prospettive future	12
1.2 Impatti positivi della mobilità ciclabile	14
1.3 Situazione in Europa.....	20
1.3.1 Ciclabilità europea: la diffusione e le politiche di incentivazione	20
1.3.2 Europa a due ruote: la rete Eurovelo	24
1.4 Situazione in Italia.....	27
1.4.1 Rete Ciclabile Nazionale "Bicitalia"	31
1.4.2 Collegamenti ciclabili in Piemonte	33
2. L'illuminazione delle piste ciclabili: obiettivi, esigenze e applicazioni progettuali	36
2.1 Obiettivi dell'illuminazione urbana	37
2.2 Illuminare le piste ciclabili.....	41
2.3 Quadro delle esigenze e parametri	43
2.3.1 Tipologie di utenti ed esigenze	43
2.3.2 Caratteristiche della visione	46
2.3.3 Parametri di controllo.....	48
2.4 L'illuminazione per le piste ciclabili: analisi della letteratura scientifica.....	51
2.4.1 Impatto dell'oscurità sul numero dei ciclisti	51
2.4.2 Percezione di sicurezza	53
2.4.3 Effetti sulle capacità visive	54
2.5 Applicazioni progettuali.....	57
3. Gli impatti dell'illuminazione sull'ambiente e sugli ecosistemi	68
3.1 Inquinamento luminoso	68
3.1.1 Effetti sulla fauna	69
3.1.2 Effetti sulla flora	72
3.1.3 Visibilità del cielo notturno	75
3.2 Misure di mitigazione e adattamento.....	78
3.2.1 Strategie	78
3.2.2 Prodotti ecocompatibili e certificati.....	83
3.3 Applicazioni progettuali.....	87
3.4 Conclusioni.....	108

4. Inquadramento normativo e legislativo: requisiti illuminotecnici	110
4.1 Premessa	110
4.2 Normativa tecnica per l'illuminazione stradale	111
4.2.1 UNI 11248:2016	111
4.2.2 UNI EN 13201-2:2016	115
4.2.3 UNI EN 13201-3:2016	120
4.2.4 UNI EN 13201-4:2016	123
4.2.5 UNI EN 13201-5:2016	125
4.3 Legislazione e normativa tecnica per il contenimento dell'inquinamento luminoso	126
4.3.1 UNI 10819:2021	126
4.3.2 Leggi regionali per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso	129
4.3.3 Piano Regolatore per l'illuminazione comunale (PRIC)	131
4.3.4 Technical Report CIE 150:2017	133
4.3.5 Criteri Ambientali Minimi (CAM)	136
5. Il caso studio: la rete delle piste ciclabili a Torino	142
5.1 Premessa	142
5.2 Mobilità lenta a Torino: politiche per incentivare l'uso dei percorsi ciclabili	143
5.2.1 Piano della mobilità ciclabile (Biciplan)	145
5.3 Classificazione delle piste ciclabili a Torino.....	151
5.3.1 Tipologie di piste.....	151
5.3.2 Relazione con il sistema di illuminazione.....	156
5.3.3 Analisi dei flussi di traffico	164
5.4 Schede descrittive	166
6. Indagine sperimentale in campo	204
6.1 Obiettivo dell'analisi sperimentale	204
6.2 Identificazione dei sedimi oggetto di analisi	205
6.3 Procedure di misura	206
6.4 Esiti dell'indagine sperimentale	212
6.4.1 Misure di illuminamento: considerazioni su fruizione e sicurezza percepita	212
6.4.2 Misure di luminanza: considerazioni sulla percezione dell'ambiente	234
6.4.3 Misure delle caratteristiche spettrali della luce: considerazioni sugli impatti ambientali	244
7. Conclusioni	256
Bibliografia	264
Sitografia	268

Abstract

Il lavoro di tesi ha l'obiettivo di proporre **un'analisi critica** riguardo le **strategie di illuminazione delle piste ciclabili**, infrastrutture di mobilità sostenibile al centro del dibattito attuale, ponendo l'attenzione sia all'analisi dei sistemi stessi sia agli **impatti dell'illuminazione elettrica** sugli **utenti** e sull'**ecosistema**. L'analisi è stata condotta anche attraverso lo svolgimento di una campagna sperimentale di misure in campo, svolta su un caso studio urbano. La ricerca si sviluppa attraverso un approccio articolato in tre fasi principali.

La prima fase è costituita da un approfondimento relativo alle **politiche di incentivazione** all'uso, alla progettazione e alla gestione della **mobilità ciclabile** e al ruolo strategico di queste infrastrutture per la sostenibilità urbana ed ambientale. Parallelamente viene introdotto il tema dell'**illuminazione**, quale opportunità di fruizione e valorizzazione, in relazione ad un quadro esigenziale per una molteplice varietà di utenti. Viene proposta una panoramica degli aspetti, delle linee guida e dei parametri di controllo che devono essere considerati per la progettazione di un sistema di illuminazione sostenibile dal punto di vista energetico e ambientale. A partire dalle esigenze relative agli utenti che utilizzano le piste ciclabili, la ricerca bibliografica viene ampliata all'analisi dei potenziali **impatti della luce elettrica sugli ecosistemi naturali** e alla tematica dell'inquinamento luminoso. Tale ricerca si articola attraverso l'analisi della letteratura scientifica e l'individuazione di alcuni esempi progettuali che mostrano l'applicazione di soluzioni illuminotecniche sostenibili per percorsi ciclabili e pedonali.

Il panorama delineato dalla ricerca bibliografica e normativa è la cornice per la seconda fase della tesi, che propone l'analisi critica di un caso studio reale. L'**infrastruttura ciclabile della città di Torino** viene descritta attraverso la ricognizione delle diverse tipologie di percorsi ciclabili e i relativi sistemi di illuminazione. Attraverso questa analisi è stato possibile identificare casi ricorrenti e predisporre schede descrittive per delineare un quadro di sintesi dei sistemi di illuminazione per i percorsi ciclabili della città.

La terza fase della tesi prevede un approfondimento conoscitivo attraverso un'attività di **indagine sperimentale in campo** su una selezione di sedimi. La campagna di misure illuminotecniche è rivolta in particolare all'acquisizione di illuminamenti, luminanze e spettri

luminosi. Gli esiti delle misurazioni vengono messi in relazione con i requisiti illuminotecnici e le indicazioni generali emerse nella prima fase di ricerca bibliografica. La restituzione e l'analisi dei dati, organizzata su tre ambiti (fruizione e la sicurezza percepita, percezione dell'ambiente e comfort, limitazione dell'inquinamento luminoso) ha permesso di valutare **potenzialità e criticità** dei sistemi di illuminazione analizzati e delineare spunti di riflessione e ricerca.

Introduzione

La bicicletta ha assunto un ruolo di centralità all'interno del panorama della mobilità lenta e sostenibile, grazie ai numerosi benefici che offre a livello ambientale, economico e sociale.

L'utilizzo di questo mezzo di trasporto è cresciuto esponenzialmente negli ultimi anni, anche in seguito alla pandemia da COVID-19 che ha spinto molti a preferire la bicicletta ai trasporti pubblici affollati. Gli stati europei mirano a consolidare questo trend attraverso l'attuazione di politiche a sostegno di infrastrutture accessibili e, come riportato tra gli obiettivi della "Risoluzione del Parlamento europeo sull'elaborazione di una strategia dell'UE per la mobilità ciclabile (Febbraio 2023)", raddoppiare il numero di chilometri percorsi in bicicletta in Europa entro il 2030. Inoltre, promuovere gli spostamenti in bicicletta rappresenta una **strategia** chiave per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione e per il miglioramento della qualità della vita urbana.

La crescente diffusione del cicloturismo rappresenta un'importante opportunità anche per lo sviluppo economico, a favore delle attività legate all'ospitalità, al commercio e alla valorizzazione del patrimonio culturale e paesaggistico.

Con la crescente diffusione delle piste ciclabili, l'illuminazione assume un ruolo cruciale per favorirne l'utilizzo in ogni momento della giornata. L'illuminazione delle piste ciclabili rappresenta un elemento fondamentale per garantire la **sicurezza**, l'**accessibilità** e il **comfort** degli utenti, contribuendo in modo significativo alla promozione della mobilità lenta.

La letteratura sull'argomento evidenzia una molteplicità di aspetti legati all'illuminazione delle piste ciclabili. Da un lato, si sottolinea il ruolo centrale dell'illuminazione in risposta alle esigenze degli utenti per ridurre il rischio di incidenti, migliorare l'orientamento dei ciclisti e favorire la visibilità, dall'altro, emergono le tematiche legate ai consumi energetici e all'impatto ambientale dell'inquinamento luminoso, in particolare all'interno delle aree naturali e dei parchi.

Le motivazioni che hanno portato allo sviluppo di una ricerca attorno al tema della mobilità ciclistica e della luce elettrica derivano dal fatto che la bicicletta rappresenta il perfetto esempio di **mezzo di trasporto sostenibile** in fase di riscoperta e diffusione come dimostrano gli sviluppi delle infrastrutture ciclabili e dei servizi ad esse associati in Italia e in Europa.

Fra tali servizi, l'illuminazione viene riconosciuta come uno dei principali a **supporto dell'infrastruttura ciclabile** che ne garantisce l'utilizzo nelle ore buie, l'accessibilità e aumenta la sensazione di sicurezza.

Inoltre, il settore dell'illuminazione per le piste ciclabili è in continua evoluzione, con l'introduzione di apparecchi che non si limitano a rispondere alle esigenze dell'uomo ma ricercano un equilibrio anche con la salvaguardia degli ecosistemi. Per questi motivi il lavoro di tesi si concentra sulla relazione tra le piste ciclabili e i loro sistemi di illuminazione con l'obiettivo di condurre un'analisi critica dello stato di fatto relativa alle caratteristiche dell'illuminazione di un caso studio specifico: le piste ciclabili della città di Torino.

Il tema della luce elettrica associato alle piste ciclabili di Torino viene trattato all'interno del lavoro di tesi attraverso una suddivisione in sette capitoli.

Il primo capitolo introduce una panoramica generale riguardo i temi della **mobilità lenta** a partire dal ruolo che essa assume nella società attuale e i benefici economici e ambientali associati al suo utilizzo. Successivamente, vengono riportate le politiche di incentivazione a livello europeo e nel dettaglio la situazione in Italia e in Piemonte.

Nel secondo capitolo il tema della mobilità ciclabile viene associato a quello dell'**illuminazione stradale** delineandone gli obiettivi principali in relazione ad un quadro esigenziale/prestazionale riferito agli utenti. Infine viene riportato un approfondimento con riferimento alla letteratura scientifica che sottolinea il ruolo dell'illuminazione per la fruibilità dell'infrastruttura, la percezione di sicurezza e gli effetti sulle capacità visive.

Il terzo capitolo tratta del tema della **sostenibilità ambientale** sviluppato dal punto di vista delle ripercussioni della luce elettrica sulla fauna, la flora e la visibilità del cielo notturno della luce elettrica, fornendo degli esempi di buone pratiche progettuali che sfruttano apparecchi illuminotecnici e strategie con l'obiettivo di minimizzare gli effetti sugli ecosistemi.

Nel quarto capitolo si analizza come vengono trattati i temi della mobilità ciclabile e dell'inquinamento luminoso all'interno dei **testi normativi e legislativi**.

All'interno del quinto capitolo viene introdotto il **caso studio**, le piste ciclabili di Torino, attraverso una classificazione tipologica e della loro

relazione con il sistema di illuminazione. Gli esiti di questa fase hanno portato alla stesura di schede descrittive che identificano, attraverso la scelta di nove casi rappresentativi, la situazione delle piste e dei sistemi di illuminazione della città.

Il sesto e il settimo capitolo si concentrano sulla fase di **analisi sperimentale** condotta attraverso il confronto dei parametri illuminotecnici derivati dalla fase di ricerca bibliografica e i dati ricavati dalle misurazioni in campo relativi agli illuminamenti orizzontali e verticali, gli spettri luminosi e le luminanze.

I risultati evidenziano come alcune piste ciclabili siano caratterizzate da un sovrailluminamento con l'obiettivo di favorire la percezione di sicurezza, mentre altre presentano livelli insufficienti di illuminazione compromettendo la visibilità e la percezione dell'ambiente circostante. La crescente attenzione verso la mobilità ciclistica, e più in generale verso la mobilità lenta, implica la necessità di potenziare i sistemi di illuminazione attraverso l'adozione di soluzioni che bilancino le esigenze dei ciclisti con quelle di tutela dell'ambiente e della biodiversità.

1. La Mobilità lenta

1.1 La bicicletta come mezzo di trasporto: attualità e prospettive future

La trattazione del tema della luce associato alle piste ciclabili implica la necessità di definire il panorama attuale riguardo la diffusione delle infrastrutture ciclabili, i benefici derivati dal ciclismo e le future opportunità, specificando le azioni politiche intraprese a livello europeo, nazionale e regionale.

Pedalare non è un'attività legata all'età. Si impara da bambini, quando la bicicletta diventa il mezzo per raggiungere la propria indipendenza. In età adulta si utilizza per gli spostamenti giornalieri, per andare a scuola, al lavoro, infine gli anziani sfruttano la bicicletta per svolgere un'attività fisica leggera e per spostamenti brevi durante la giornata.

La bicicletta è un mezzo accessibile a tutti e semplice da utilizzare che può essere sfruttato per scopi diversi.

Attualmente stiamo attraversando un periodo di riscoperta della bicicletta associato allo svolgimento di molteplici attività supportate da infrastrutture dalle caratteristiche specifiche.

Per percorrere spostamenti brevi, solitamente all'interno della città, per recarsi al lavoro, per svago o per raggiungere una destinazione in tempi brevi durante la giornata si utilizzano dei percorsi definiti piste ciclabili urbane.



Fig 1.
Pista ciclabile a Leeds, da <https://fiabitalia.it/smog-ciclisti-leeds-utenti-strada/>

Nel caso in cui si prevedano spostamenti lunghi, per piacere o per turismo, i percorsi ciclabili vengono definiti ciclovie turistiche.

Il cicloturismo è un'attività che permette di intraprendere un'esperienza lenta di conoscenza del territorio, delle tradizioni e dei paesaggi favorendo allo stesso tempo l'attività fisica, la socialità e lo sviluppo economico.

Per questo tipo di esperienza, che prevede diverse tappe dilatate nel tempo, le infrastrutture ciclabili devono essere adeguatamente progettate, prevedendo la presenza lungo il percorso di strutture per il pernottamento, stazioni per il controllo e la manutenzione delle bici.



Fig.2
Ciclovie turistica, da <https://fiabitalia.it/fiab/cosa-facciamo/turismo-in-bicicletta/>

Il **“rinascimento della bicicletta”**¹ è dovuto principalmente alla possibilità che la bicicletta offre come soluzione per alcune delle problematiche legate ai trasporti, ad esempio, durante il periodo della pandemia da COVID-19 la bicicletta è stata utilizzata maggiormente per evitare l'uso dei trasporti pubblici affollati e il congestionamento del traffico, garantendo sicurezza e riducendo il rischio di contagio. Inoltre, l'utilizzo della bicicletta permette di contrastare problematiche ambientali come le emissioni di CO₂, il cambiamento climatico, l'inquinamento atmosferico e l'estrazione dei combustibili fossili. Per queste ragioni la bicicletta viene riconosciuta come mezzo principale per lo sviluppo della mobilità sostenibile e per il raggiungimento di obiettivi dell'Agenda 2030 attraverso l'applicazione di strategie approvate dal Parlamento Europeo²:

- **Raddoppiare** il numero di chilometri percorsi in bicicletta in Europa entro il 2030, riconoscendo la mobilità ciclabile come una modalità di trasporto a tutti gli effetti;
- **Incoraggiare** le autorità regionali e locali a mantenere le infrastrutture ciclabili realizzate in risposta alla pandemia e ad adottare azioni concrete per integrare adeguatamente la mobilità ciclabile nei loro quadri per la mobilità urbana;
- **Creare sinergie** tra l'uso della bicicletta e altri metodi di trasporto, ad esempio mettendo a disposizione più spazi per le biciclette sui treni e predisponendo aree di parcheggio più sicure per le biciclette nelle stazioni e negli snodi della mobilità;
- **Implementare** i requisiti di qualità per infrastrutture ciclabili sicure;
- **Incoraggiare progetti** relativi agli spostamenti in bicicletta e ai settori

1 Bozzuto P., Fabian L., Per una possibile “urbanistica della bicicletta”, in TERRITORIO, 2014, pag. 98

2 Risoluzione del Parlamento europeo del 16 febbraio 2023 sull'elaborazione di una strategia dell'UE per la mobilità ciclabile: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0058_IT.html

connessi come la mobilità, il turismo, la salute e lo sport;

- **Sostenere la produzione** di biciclette e componenti "Made in Europe", promuovendo posti di lavoro e rafforzando la formazione professionale connessa al settore;

- **Garantire l'accessibilità**, anche economica, delle piste ciclabili alle persone più vulnerabili attraverso investimenti per sostenere l'acquisto di biciclette e l'accesso ai servizi di bike sharing;

- Condurre **campagne educative** e di formazione per sensibilizzare in merito alla sicurezza stradale, sostenendo l'uso sicuro della bicicletta;

- **Sviluppare** ulteriormente la rete EuroVelo;

- Designare il 2024 come **anno europeo della bicicletta**.

Infine la bicicletta rappresenta uno strumento per la **progettazione** delle città e dello spazio urbano in un'ottica più sostenibile e inclusiva, come riportato da Bozzuto P. e Fabian L.: "Il progetto di un territorio disegnato attorno a forme di mobilità sostenibili, economiche e a basso contenuto tecnologico, non è solo una questione di natura squisitamente energetica, ambientale o di carattere eminentemente trasportistico. [...] è anche e soprattutto un'opportunità spaziale oltre che di equità sociale."³

Lo spazio della strada, dedicato principalmente ai mezzi di trasporto motorizzati, viene **riorganizzato** per ospitare un flusso maggiore di ciclisti attraverso l'implementazione delle infrastrutture ciclabili più sicure, aree di sosta, parcheggi per biciclette e servizi utili per pedoni e ciclisti.⁴ In questo modo si promuove la progettazione dello spazio urbano come luogo di integrazione sociale, accessibile e a misura d'uomo.

1.2 Impatti positivi della mobilità ciclabile

Il concetto di città è spesso legato a problemi come il traffico, l'inquinamento atmosferico e gli incidenti stradali, tuttavia è possibile affrontare queste sfide agendo sul settore dei trasporti e favorendo l'utilizzo dei mezzi pubblici, la mobilità pedonale e ciclabile.

L'uso della bicicletta garantisce un equilibrio tra la necessità dell'uomo di spostarsi per ragioni lavorative e di svago all'interno della città e nelle aree extraurbane, e limitare gli impatti sull'ambiente generando notevoli benefici ambientali, economici e sulla salute degli utenti.

La bicicletta, infatti, è un mezzo di trasporto associato uno **stile di vita sano** che necessita, per il suo funzionamento, della sola forza muscolare. Questo fattore stimola il movimento e riduce la sedentarietà che viene definita, insieme alle malattie ad essa correlate, la quarta causa di mortalità al mondo.⁵

Uno studio dell'università di Bristol⁶ ha dimostrato come il regolare

utilizzo della bicicletta sia associato ad un rischio minore di mortalità.

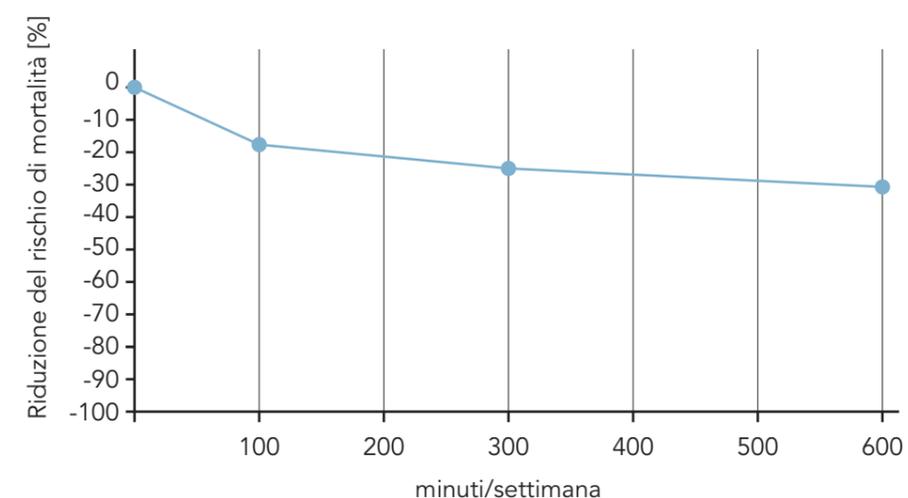


Fig.3 Riduzione relativa del rischio di mortalità in base al tempo trascorso pedalando a settimana, elaborazione personale da Logan G. et al., Benefits, risks, barriers, and facilitators to cycling: a narrative review., Sports and Active Living, 2023

L'analisi è stata basata su dati di studi condotti in Danimarca, Regno Unito e Cina includendo circa 200,000 persone di età compresa tra i 20 e i 93 anni e, analizzando la loro tendenza all'uso della bicicletta in un periodo compreso tra i 6 e i 18 anni, è stato possibile affermare che utilizzare la bicicletta per circa 100 minuti alla settimana **riduce il rischio di mortalità** del 17%. Inoltre è stato anche dimostrato che sfruttando la bicicletta in modo congiunto ad altri mezzi di trasporto pubblico il rischio di mortalità diminuisce del 24%.⁷

Associati all'uso della bici sono state svolte ricerche riguardo la riduzione delle problematiche legate a malattie cardiovascolari, diabete e obesità. In particolare per gli anziani, è stato osservato come l'utilizzo della bicicletta sia associato alla riduzione di circa il 20% delle probabilità di sviluppare diabete di tipo due e patologie legate alla fragilità ossea poiché questo tipo di attività fisica che non prevede carichi ulteriori sul corpo.⁸

Un rischio legato all'uso della bici in un contesto urbano è legato all'esposizione ai gas inquinanti poiché il ciclista quando viaggia nelle vicinanze di un veicolo a motore è esposto maggiormente all'inquinamento atmosferico, inalando particelle nocive dalle 4 alle 7 volte in più rispetto al conducente di un'auto che si trova sullo stesso percorso.⁹ Per questo motivo la maggiore diffusione della bicicletta porterebbe ad una **riduzione delle emissioni di gas inquinanti** con un conseguente beneficio sulla salute.

Uno studio condotto a Barcellona ha confrontato gli impatti dell'uso della bicicletta in alternativa all'automobile. Nel caso in cui il 40% dei viaggi fosse stato svolto bici e non in auto il numero di morti si sarebbe ridotto di 66.12 in un anno e, grazie al calo delle emissioni in atmosfera di 203.251 tonnellate di CO₂ il numero di morti si ridurrebbe di 10.03.¹⁰

7 Logan G. et al., Benefits, risks, barriers, and facilitators to cycling: a narrative review., Sports and Active Living, 2023 ,pag. 3

8 Logan G. et al., Benefits, risks, barriers, and facilitators to cycling: a narrative review., Sports and Active Living, 2023 , pag. 5

9 Logan G. et al., Benefits, risks, barriers, and facilitators to cycling: a narrative review., Sports and Active Living, 2023 , pag. 9

10 Fonazione Manlio Masi, Mobilità ciclabile e infrastrutture: prospettive e vantaggi, Bikeconomy osservatorio, 2018, pag.14

3 Bozzuto P., Fabian L., Per una possibile "urbanistica della bicicletta", in TERRITORIO, 2014, pag. 100

4 Bozzuto P., Fabian L., Per una possibile "urbanistica della bicicletta", in TERRITORIO, 2014, pag. 100-101

5 Fonazione Manlio Masi, Mobilità ciclabile e infrastrutture: prospettive e vantaggi, Bikeconomy osservatorio, 2018, pag.13

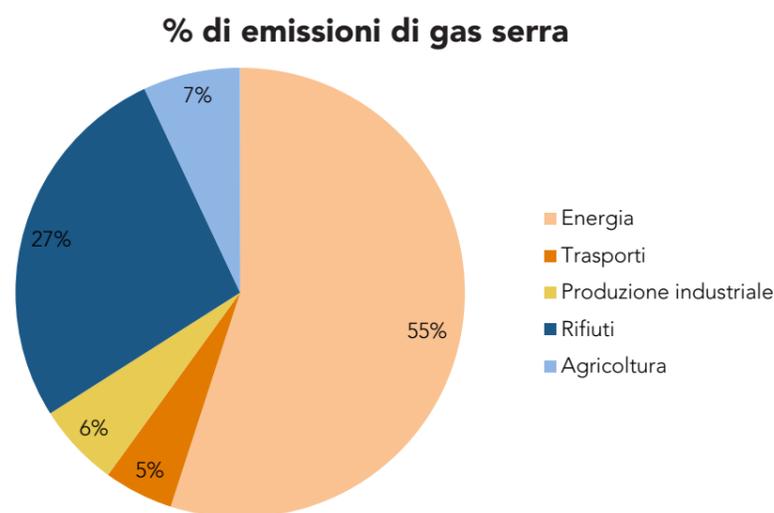
6 Logan G. et al., Benefits, risks, barriers, and facilitators to cycling: a narrative review., Sports and Active Living

“Cyclists continuously, (un)consciously negotiate with others and with their surroundings to prevent collisions or mediate traffic flows. In doing so, they interact with a large number of other road users and objects in physical space. Cyclists also have a high degree of freedom to traverse and interact with their surrounding environment, given the infrastructure, traffic laws and cultural acceptance.”¹¹ Un ulteriore effetto positivo dovuto all’uso della bicicletta è legato, non solo al benessere fisico, ma anche alla salute mentale, infatti il ciclismo favorisce l’interazione sociale e i momenti di condivisione alleviando lo stato di stress.

I dati mostrano una serie rilevante di benefici legati alla salute delle persone ai quali la bicicletta può contribuire nel caso in cui venga utilizzata ampiamente per lo svolgimento delle attività quotidiane. Le potenzialità sono molteplici e devono essere sfruttate attraverso la sensibilizzazione degli utenti riguardo a questi temi e allo sviluppo di politiche che possano supportare l’utilizzo della bicicletta.

La bicicletta rappresenta l’esempio perfetto di mezzo di trasporto ecologico, che grazie alle ridotte emissioni, permette di **contrastare l’inquinamento atmosferico**, migliorare la qualità dell’aria e generare benefici sull’ambiente.

Nel 2018 la Commissione Europea ha definito un nuovo obiettivo da raggiungere entro il 2050: azzerare le emissioni di serra.¹² Poiché il settore dei trasporti è responsabile del 27% delle emissioni di gas serra, intervenire in questo ambito, riducendo del 90% le emissioni generate dal settore dei trasporti, potrebbe contribuire al raggiungimento di tale obiettivo e generare significativi benefici ambientali.¹³



Per definire le potenzialità dell’uso della bicicletta in modo che possa essere sfruttata per la decarbonizzazione, l’European Cyclists’ Federation

ha condotto uno studio riguardo le emissioni di CO₂ prodotte dalle biciclette e altri mezzi di trasporto durante il loro intero ciclo di vita.

Questo tipo di valutazione prende in considerazione diverse fasi :

- la fase produttiva include i processi e l’energia necessari per l’estrazione delle materie prime destinati alla realizzazione del mezzo;

- la fase operativa riguarda l’uso e il consumo di carburante;

- la fase di manutenzione comprende le azioni necessarie la corretto funzionamento e sicurezza del mezzo.

Nonostante la bicicletta venga spesso associata al concetto di emissioni pari a zero, nell’ottica di una valutazione LCA (Life Cycle Assessment), le emissioni di questo mezzo di trasporto sono limitate nella fase dell’utilizzo ma sono presenti nelle fasi di produzione e manutenzione.

Lo studio definisce che nelle fasi di produzione e manutenzione le emissioni delle biciclette sono pari a 5 grammi di CO₂e/km se si considera una bicicletta standard di circa 19.9 kg di cui, e 14.6 kg di alluminio, 3.7 kg di acciaio, e 1.6 km di gomma.¹⁵

Per quanto riguarda la fase di utilizzo, considerando le risorse necessarie per la produzione, distribuzione e consumo di cibo necessario al ciclista, vengono emessi per l’uso 16 grammi di CO₂e/km, per un totale di 21 grammi di CO₂e/km rilasciati da ogni bicicletta durante il ciclo di vita.

Al termine dell’analisi questi dati sono stati confrontati con le quantità di CO₂ emesse da altri mezzi di trasporto: biciclette elettriche (22 grammi di CO₂e/km), automobili (42 grammi di CO₂e/km) e autobus (101 grammi di CO₂e per passeggero/km).¹⁶

Lo studio dimostra che la bicicletta è il mezzo di trasporto più ecocompatibile, nonostante non risulti completamente privo di emissioni. Inoltre, quando supportata da politiche adeguate, svolge il ruolo di importante risorsa per mitigare gli effetti dei trasporti sull’ambiente e migliorare le qualità dell’aria.

Gli strumenti principali adottati dai paesi europei per soddisfare le direttive dell’European Green Deal riguardo la decarbonizzazione sono i Piani Nazionali per l’Energia e il Clima (NEPC). In base al contesto precedentemente descritto, il rafforzamento della mobilità ciclabile potrebbe apportare un contributo significativo alla decarbonizzazione.

Il 92.5% degli Stati membri ha incluso all’interno dei loro piani almeno una misura a sostegno della bicicletta¹⁷. Tra i paesi più virtuosi sono presenti la Francia, che ha previsto una nuova strategia nazionale per la bicicletta entro il 2024 e un sussidio per incentivare la mobilità sostenibile, e l’Italia che ha adottato piani dedicati alla mobilità sostenibile e finanziamenti per l’acquisto di biciclette.¹⁸

14 Blondel B., Mispelon C., Ferguson J., Cycle more often 2 Cool down the planet ! Quantifying Co2 savings of cycling pag. 9

15 Blondel B., Mispelon C., Ferguson J., Cycle more often 2 Cool down the planet ! Quantifying Co2 savings of cycling pag. 9

16 Blondel B., Mispelon C., Ferguson J., Cycle more often 2 Cool down the planet ! Quantifying Co2 savings of cycling pag. 13-15

17 Küster F., Watson M., Cycling Underrepresented in EU Member States’ Final National Energy and Climate Plans, European Cyclists’ federation, pag. 15

18 Küster F., Watson M., Cycling Underrepresented in EU Member States’ Final National Energy and Climate Plans, European Cyclists’ federation, pag. 13

11 Harms L., Kansen M., Cycling Facts. Netherlands Institute for Transport Policy Analysis, Ministry of Infrastructure and Water Management, 2018, pag. 12

12 Commissione europea, Il Green Deal europeo, Bruxelles, 2019, pag. 2

13 Küster F., Watson M., Cycling Underrepresented in EU Member States’ Final National Energy and Climate Plans, European Cyclists’ federation, pag. 5

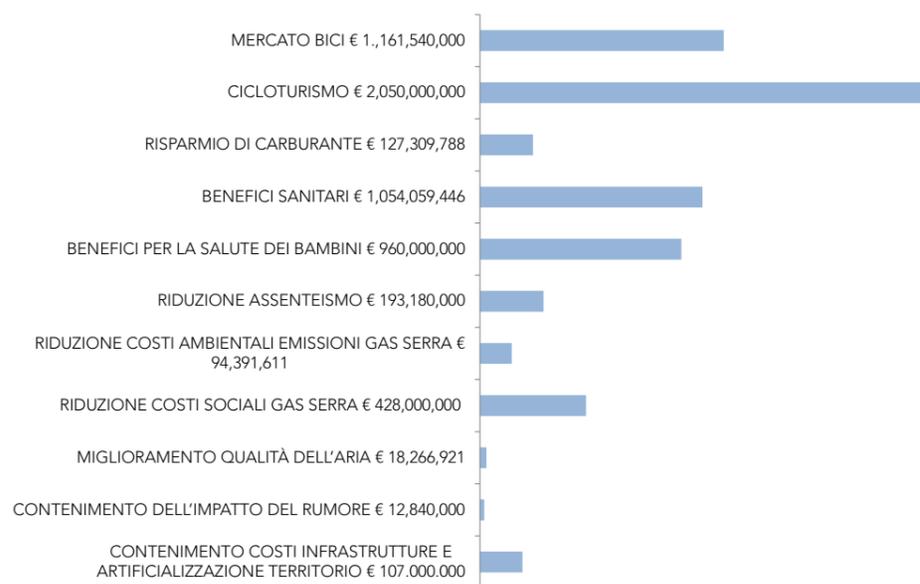
Fig. 4 Elaborazione personale da ISPRA, Schede sintetiche di presentazione dei principali risultati delle stime dei gas ad effetto serra (GHGs) per ciascun settore, riferite all’Inventario delle Emissioni in atmosfera (1990-2022)

Spostarsi in bicicletta genera, oltre a benefici diretti alla salute dell'utente e all'ambiente, vantaggi tangibili all'**economia** nazionale e locale.

Nel 2017, Legambiente in collaborazione con VeloLove e GRAB+, ha pubblicato "L'A Bi Ci, 1° rapporto sull'economia della bici in Italia e sulla ciclabilità nelle città" all'interno del quale viene introdotto il concetto di PIB, prodotto interno bici, che permette di quantificare in termini monetari le esternalità che derivano dall'utilizzo della bicicletta.

In Italia, il valore economico della bicicletta è stato stimato di circa 6.2 miliardi di euro.¹⁹ Questa cifra comprende sia i settori direttamente legati alla mobilità ciclabile come la produzione, la vendita, la manutenzione delle bici e il cicloturismo, che i benefici indiretti legati alla salute e all'ambiente come il miglioramento della qualità dell'aria, la riduzione delle emissioni e la riduzione dell'inquinamento acustico.

Valore economico della bicicletta



Il mercato legato alla produzione e la vendita delle bici è particolarmente vantaggioso grazie al suo continuo sviluppo, infatti, nel 2016 la produzione è aumentata del 13.8% rispetto all'anno precedente, generando nuovi posti di lavoro e un valore 488 milioni di euro per quanto riguarda la produzione industriale, e 483,540.000 € per la produzione di parti e accessori.²⁰

Un ulteriore ambito in cui la bicicletta costituisce un significativo supporto per l'economia è il **cicloturismo**. Una tipologia di turismo lento che permette alle persone di apprezzare i paesaggi, scoprire il patrimonio culturale e immergersi nelle tradizioni locali. In Europa il cicloturismo genera ogni anno circa 44 miliardi di euro²¹, un traguardo significativo supportato dall'implementazione delle politiche nazionali riguardo le infrastrutture e i servizi.

L'uso della bicicletta offre anche vantaggi ambientali legati alla riduzione delle emissioni e al contenimento delle spese relative all'estrazione delle risorse non rinnovabili utilizzate come i carburanti.

Nel 2015 in Italia sono stati percorsi in bicicletta 5,752,761.33 km. Questo mezzo di trasporto ha sostituito circa il 30% degli spostamenti in auto, evitando 997,528,815 km percorsi con macchine a benzina e 723,122,100 km percorsi con auto a gasolio. Nel caso in cui la media dei consumi sia pari a 5lt/100 km vengono risparmiati 7.67€/100km per le auto a benzina e 7.025€/100km per auto a gasolio. In termini economici ciò si traduce in un risparmio complessivo di 76,510,460 € nel caso dell'auto a benzina e 50,799,328€ per le auto a gasolio.²²

Le riduzioni dei costi ambientali e sociali dovute alle limitate emissioni di gas serra seguito all'uso della bicicletta vengono calcolate in maniera analoga a partire dai chilometri percorsi annualmente e alla quantità di CO₂ che non viene emessa in atmosfera. Dai calcoli ne deriva che la riduzione dei costi ambientali è pari a 94,000,391,611 € mentre i costi sociali, cioè i danni dovuti al cambiamento climatico che vengono evitati, sono pari a 428,000,000 €. ²³

Le ridotte emissioni di gas serra generano un conseguente miglioramento della qualità dell'aria consentendo la riduzione della spesa dedicata alle azioni da seguire per ridurre l'inquinamento atmosferico pari a 426,797,211 € in tutta Europa e 18,266,921 € in Italia.

Infine altri impatti sull'ambiente riguardano i suoni emessi nelle città e in contesti extraurbani. I rumori prodotti dal traffico veicolare possono influenzare negativamente la qualità della vita delle persone e della fauna locale, la bicicletta, contribuendo in modo limitato all'inquinamento acustico, non necessita di politiche per ridurre i danni prodotti dai suoni, evitando una spesa pari a 12,840,000 €. ²⁴

Utilizzare quotidianamente la bici come mezzo principale per gli spostamenti riduce, come descritto precedentemente, i rischi di malattie associate alle sedentarietà, le malattie cardiovascolari e contribuisce a migliorare la salute mentale. Pedalando, si possono evitare 1,054,058,446€ in spese sanitarie.²⁵

Infine sono stati riscontrati benefici legati alla costruzione e la manutenzione delle infrastrutture per la viabilità che prevedono minor consumo di suolo e un minore impatto sul territorio rispetto alle infrastrutture per il traffico motorizzato, riducendo il traffico automobilistico si genera un risparmio di 107,000,000 €. ²⁶

19 LEGAMBIENTE, in collaborazione con Velo Love e GRAB+, L'A Bi Ci. 1° rapporto sull'economia della bici in Italia e sulla ciclabilità nelle città, 2017, pag.5

Fig.5 Elaborazione personale da LEGAMBIENTE, in collaborazione con Velo Love e GRAB+, L'A Bi Ci. 1° rapporto sull'economia della bici in Italia e sulla ciclabilità nelle città, 2017

20 LEGAMBIENTE, in collaborazione con Velo Love e GRAB+, L'A Bi Ci. 1° rapporto sull'economia della bici in Italia e sulla ciclabilità nelle città, 2017, pag.21

21 Küster F., Schusta B, The state of national cycling strategies in Europe, European Cyclists' Federation, 2023, pag. 14

22 LEGAMBIENTE, in collaborazione con Velo Love e GRAB+, L'A Bi Ci. 1° rapporto sull'economia della bici in Italia e sulla ciclabilità nelle città, 2017, pag.24

23 LEGAMBIENTE, in collaborazione con Velo Love e GRAB+, L'A Bi Ci. 1° rapporto sull'economia della bici in Italia e sulla ciclabilità nelle città, 2017, pag.26

24 LEGAMBIENTE, in collaborazione con Velo Love e GRAB+, L'A Bi Ci. 1° rapporto sull'economia della bici in Italia e sulla ciclabilità nelle città, 2017, pag.27

25 LEGAMBIENTE, in collaborazione con Velo Love e GRAB+, L'A Bi Ci. 1° rapporto sull'economia della bici in Italia e sulla ciclabilità nelle città, 2017, pag.25

26 LEGAMBIENTE, in collaborazione con Velo Love e GRAB+, L'A Bi Ci. 1° rapporto sull'economia della bici in Italia e sulla ciclabilità nelle città, 2017, pag.27

1.3 Situazione in Europa

1.3.1 Ciclabilità europea: la diffusione e le politiche di incentivazione

Per sfruttare al massimo la bicicletta come mezzo di trasporto sostenibile che genera benefici all'ambiente, alla salute e alla società, è necessario implementare le infrastrutture ciclabili e i servizi ad esse associati attraverso la promulgazione di politiche a livello europeo, nazionale e locale, adattandosi alle specificità di ogni territorio.

Le leggi e le strategie riguardo la mobilità ciclabile sono fondamentali per regolarizzare e incentivare l'uso della bicicletta favorendo i collegamenti tra poli di interesse, valorizzando i luoghi di rilevanza storica, artistico e naturalistica e rendendo più accessibile e sicura la fruizione del servizio.

Il consiglio dell'Unione Europea ha approvato delle **direttive** riguardo la **mobilità urbana sostenibile** e le linee guida da seguire per migliorare la qualità dei trasporti nelle città: "Strategia per una mobilità sostenibile e intelligente: mettere i trasporti europei sulla buona strada per il futuro"(2020) e "Il nuovo quadro dell'UE per la mobilità urbana"(2021).

I due documenti riportano l'insieme delle iniziative da applicare per facilitare "La transizione verso una mobilità urbana sicura, accessibile, inclusiva, intelligente, resiliente e a emissioni zero"²⁷.

Il tema della mobilità ciclabile viene trattato all'interno dei testi, sottolineando l'importanza di potenziare le infrastrutture, renderle più sicure e accessibili, ridurre il numero di vittime causate dagli spostamenti sulla strada, ma rimane inserito all'interno di un contesto più generale della mobilità urbana, nel quale vengono trattati anche i temi del trasporto ferroviario, trasporto aereo e via mare.

Un momento di svolta riguardo il tema della mobilità dolce su due ruote si verifica il 3 aprile 2024, quando il Parlamento europeo, il Consiglio e la Commissione europea adottano la "Dichiarazione Europea sulla mobilità ciclistica", il **primo documento politico** in materia di mobilità ciclabile a livello europeo. Questo documento rappresenta il punto di partenza verso il rafforzamento della mobilità sostenibile e il riconoscimento della bicicletta come mezzo di trasporto accessibile e in grado di generare benefici sull'intera società.

Al suo interno la Dichiarazione racchiude le principali azioni che guideranno gli interventi dei paesi europei per potenziare le infrastrutture ciclabili e migliorare la qualità dei servizi come parcheggi e stazioni di ricarica.

La Dichiarazione si articola in 8 punti chiave²⁸:

- **Sviluppo e rafforzamento** delle politiche sulla mobilità sostenibile:

promuovere lo sviluppo e il rafforzamento delle politiche riguardo la mobilità ciclistica attraverso campagne di sensibilizzazione, programmi di gestione e incentivi economici sia a livello europeo che locale;

- **Incoraggiamento** ad una **mobilità inclusiva**, salutare e a prezzi accessibili: adottare strategie in grado di rendere accessibile la bicicletta a tutti indipendentemente dalle possibilità economiche e l'età favorendo l'inclusione sociale;

- **Realizzazione di infrastrutture ciclabili** più numerose e migliori: sviluppare un sistema di infrastrutture ciclabili sicuro e diffuso in modo coerente in tutta Europa per aumentarne la capacità attrattiva;

- **Incremento degli investimenti** e instaurazione di condizioni favorevoli per la mobilità ciclistica: l'applicazione delle strategie in favore della mobilità ciclabile necessita di finanziamenti e sostegno economico;

- **Aumento della sicurezza stradale**: garantire, attraverso l'applicazione di norme, la sicurezza del ciclista all'interno della carreggiata stradale che spesso condivide con pedoni, auto e altri mezzi di trasporto;

- **Sostegno ai posti di lavoro** di qualità e allo sviluppo di un'industria europea della mobilità ciclistica di livello mondiale: lo sviluppo dell'infrastruttura ciclabile determina di conseguenza benefici all'economia, al cicloturismo, ai servizi legati alla manutenzione e il noleggio di biciclette;

- **Sostegno alla multimodalità** e al **cicloturismo**: la mobilità ciclistica deve essere sfruttata per aumentare le connessioni tra le città, le zone urbane e rurali. Inoltre è necessario favorire l'utilizzo della bicicletta in relazione altri mezzi di trasporto come autobus e treni;

- **Miglioramento** della raccolta di dati sulla mobilità ciclistica: in modo tale da applicare delle strategie più efficienti è necessario sviluppare un sistema di monitoraggio riguardo le condizioni delle piste e i progressi ottenuti.

A partire dai testi emanati a livello europeo gli stati possono declinare queste linee guida in base alle proprie necessità. Per quanto riguarda l'attuazione delle politiche nazionali a favore dell'uso bicicletta, il panorama europeo risulta ancora piuttosto **frammentato**, così come riportato all'interno del report "The state of national cycling strategies in Europe" (2024).

I paesi dell'Europa occidentale come Italia, Francia, Spagna, Portogallo, e alcuni stati del nord Europa come Finlandia, Paesi Bassi, Norvegia e il Regno Unito hanno adottato delle strategie nazionali per la bicicletta. Il termine "National Cycling Strategy" (NCS) fa riferimento ai piani pluriennali definiti dai singoli stati finalizzati alla gestione delle politiche

27 Commissione europea, Il nuovo quadro dell'UE per la mobilità urbana, Strasburgo, 2021, pag. 3

28 Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, Dichiarazione europea sulla mobilità ciclistica, 2024, pag. 5-9

e la definizione degli obiettivi per la ciclabilità e lo sviluppo di una rete ciclistica nazionale.²⁹

Alcuni stati dell'Europa orientale, invece, presentano delle strategie non sufficientemente sviluppate come nel caso di Grecia, Romania, Slovenia e Lituania, mentre altri paesi, come Albania, Polonia, Estonia e Georgia non hanno ancora previsto nessuna strategia.

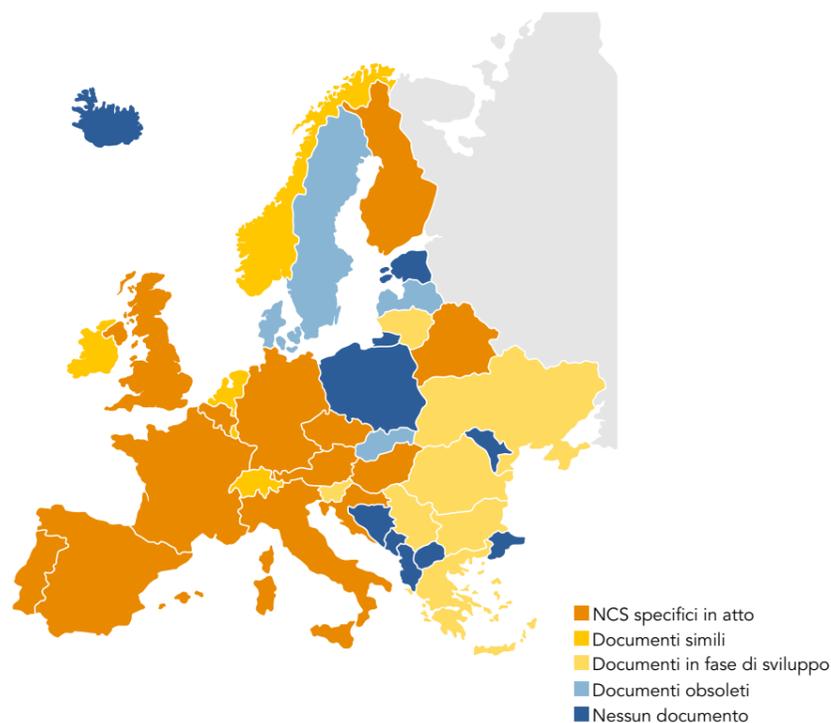


Fig.6 Situazione riguardo l'adozione delle strategie nazionali per la mobilità ciclistica in Europa, elaborazione personale da Küster F., Schusta B, The state of national cycling strategies in Europe, European Cyclists' Federation, 2024

Inoltre, i dati mostrano un andamento positivo riguardo l'adozione delle strategie per l'uso della bicicletta che dal 2021 al 2023 è aumentato del 24% dimostrando l'interesse degli stati nel favorire lo sviluppo della bicicletta come un mezzo di trasporto principale verso il rafforzamento della mobilità dolce.³⁰

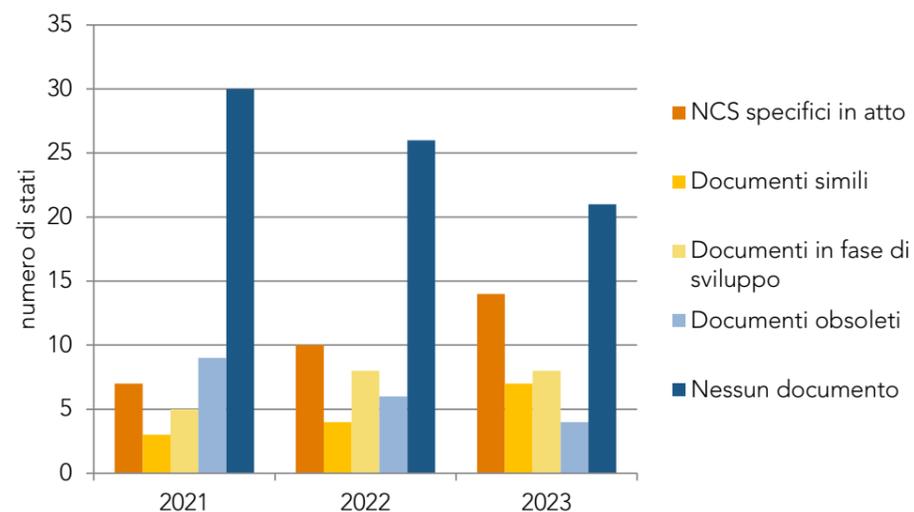


Fig.7 Andamento relativo all'adozione delle strategie nazionali per la mobilità ciclistica, elaborazione personale da Küster F., Schusta B, The state of national cycling strategies in Europe, European Cyclists' Federation, 2024

Anche la diffusione della bicicletta risulta diversificata tra i paesi europei. In Olanda il 41% della popolazione ha dichiarato di utilizzare la bicicletta come principale mezzo di trasporto quotidianamente, seguita dalla Svezia e dalla Germania, dove rispettivamente l'utilizzo è pari al 21% e il 15%.³¹

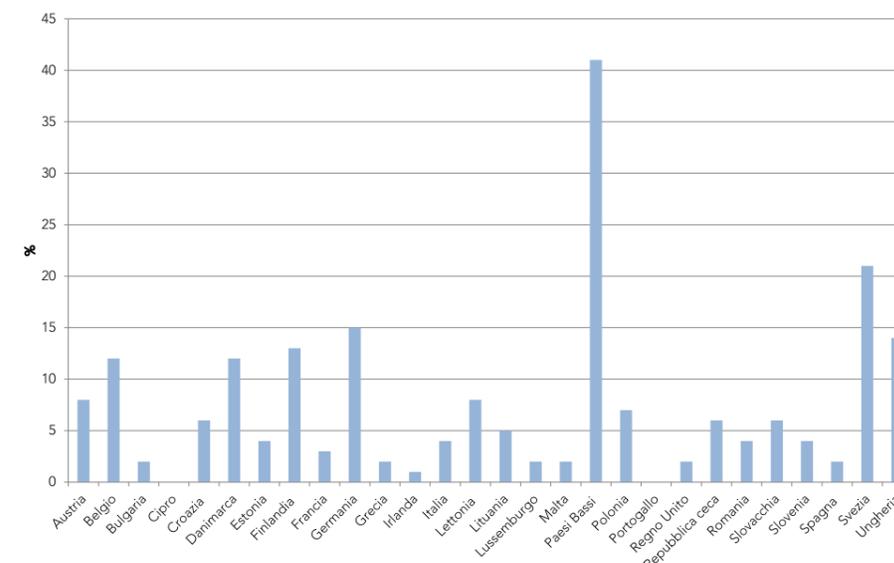


Fig.8 Dati relativi all'uso della bicicletta per gli spostamenti quotidiani, elaborazione personale da https://data.europa.eu/data/datasets/s2226_92_1_495_eng?locale=en, pag. 13-16

L'Olanda rappresenta un esempio virtuoso per quanto riguarda l'utilizzo della bicicletta per gli spostamenti giornalieri per svago, per sport e per recarsi al lavoro. Questo fenomeno è legato principalmente ad un fattore culturale che caratterizza tutto il paese, infatti, in Olanda risiedono 17 milioni di persone e sono presenti 23 milioni di biciclette.³²

La bicicletta viene utilizzata principalmente dalle fasce d'età più giovani per motivi legati all'educazione e alla maggiore sensibilizzazione nei confronti del tema della mobilità dolce, e negli ultimi anni la diffusione dei biciclette elettriche ha reso più accessibile il loro utilizzo, per coprire lunghe distanze, anche alle persone anziane.

Per favorire l'uso della bicicletta sia all'interno della città che come mezzo per gli spostamenti tra città diverse, il governo olandese si impegna ad ampliare costantemente i percorsi ciclabili dedicati completamente alle biciclette, noti come autostrade ciclabili. Inoltre, sono stati introdotti dei benefici economici per coloro che si recano al lavoro in bicicletta: i datori di lavoro possono riconoscere ai dipendenti un'indennità chilometrica di 0.19€ per ogni km percorso in bici.³³

1.3.2 Europa a due ruote: la rete Eurovelo

Nel 1994 Jens Erik Larsen avanzò per la prima volta l'idea di creare una rete ciclabile europea, con l'obiettivo di promuovere l'uso della bicicletta come mezzo di trasporto lento, sviluppare una rete di trasporto per un turismo sostenibile e facilitare gli spostamenti attraverso paesi del continente. Uno dei principali attori coinvolti nello sviluppo di questo progetto fu la European Cyclists' Federation (ECF), affiancata da vari stati membri dell'Unione Europea come l'Italia, la Spagna e il Belgio, che riconobbero il potenziale della rete per il cicloturismo, la mobilità sostenibile e il miglioramento della qualità della vita. Dopo anni di pianificazione e coordinamento, nel 2001 venne inaugurata l'EuroVelo 12, la prima pista ciclabile della rete EuroVelo attraverso i paesi nordici. L'EuroVelo 12, nota anche come la "North Sea Cycle Route", si estende per circa 7000 km attraverso i paesaggi naturali e i siti UNESCO di nazioni come Norvegia, Svezia, Danimarca, Germania, Paesi Bassi, Belgio, Francia e Regno Unito circondando la costa del Mare del Nord.³⁴

Negli anni questo network ha continuato ad espandersi per 42 paesi comprendendo più di 92,000 km di piste di cui il 66% è già stato certificato e dotato di segnaletica in base alle linee guida nazionali, mentre il restante 34% è ancora in continuo miglioramento.

Con l'obiettivo di monitorare gli sviluppi dei percorsi ciclabili, sono stati istituiti 23 National EuroVelo Coordination Centers, ciascuno con il compito di promuovere e implementare l'EuroVelo, garantire la qualità e la sicurezza delle piste attraverso la raccolta di dati e il rilascio di certificazioni. I National EuroVelo Coordination Centers lavorano in stretta collaborazione con le autorità locali e gli enti regionali per favorire lo sviluppo sostenibile del cicloturismo in Europa e contribuire alla creazione di itinerari ciclabili sicuri, accessibili in grado di promuovere uno stile di vita sano.

Questi organi articolano le loro analisi seguendo una metodologia sviluppata dall'European Cyclists' Federation che prende il nome di **European Certification Standard (ECS)**. Questa metodologia mira a valutare gli aspetti infrastrutturali, i servizi e la promozione delle piste ciclabili attraverso la raccolta di dati riguardanti la qualità delle piste, in modo tale da offrire un'infrastruttura sicura e servizi che migliorino l'esperienza degli utenti.³⁵

L'ECS è uno strumento dalle molteplici funzionalità che può essere utilizzato per definire dei **requisiti minimi** di qualità di un percorso ciclabile utili anche per lo sviluppo di standard nazionali, valutare la qualità dei percorsi esistenti e trasmettere queste informazioni utili per i ciclisti attraverso le certificazioni EuroVelo che vengono rilasciate.

L'ECS viene emessa nel caso in cui vengano rispettati determinati criteri essenziali³⁶:

- Il manto stradale deve essere **continuo** e non deve contenere degli ostacoli fisici che rendano impraticabile il percorso. Le barriere naturali come fiumi o promontori, e artificiali come i passaggi a livello e binari devono essere arginati con un'adeguata infrastruttura (ponti o sottopassaggi);
- Più del 50 % della lunghezza dei percorsi non deve essere classificata come ad **alto traffico**;
- La superficie del percorso deve essere **pavimentata** o **asfaltata** e deve risultare adatta a qualsiasi tipo di bicicletta da trekking o turistica in tutte le condizioni meteo;
- Il **dislivello cumulativo** in salita o in discesa su un tratto giornaliero non supera i 1000 m;
- Deve essere presente almeno **un'attrazione culturale** o **naturale** significativa in una sezione giornaliera;
- Il percorso deve essere segnalato in linea con le **norme nazionali** pertinenti (se esistenti) e le **linee guida EuroVelo** (sempre);
- Trasportare biciclette sui mezzi pubblici per accedere al percorso è legalmente e fisicamente possibile almeno ogni 150 km. Devono essere presenti almeno due **servizi affidabili** al giorno durante la stagione cicloturistica locale, ciascuno dei quali trasporta un minimo di due biciclette da turismo o da trekking assemblate;
- Ogni sezione giornaliera deve avere almeno un **campeggio**, un alloggio economico o di livello medio (semplice hotel, alloggio in famiglia, ostello, ecc.);
- Deve essere presente almeno **un'officina** per la riparazione di biciclette, un negozio di biciclette, un distributore automatico di pezzi di ricambio o una stazione self-service è su ogni sezione percorsa in una giornata;
- Per l'intero percorso è disponibile almeno **una guida** o una mappa cartacea dettagliata (in una o più pubblicazioni). La mappa dovrebbe essere sufficientemente dettagliata da fornire un supporto adeguato per l'orientamento;
- Lungo il percorso su ogni tratto giornaliero deve essere posizionato almeno **un tabellone** o un centro informativo.

Tra i criteri essenziali che vengono considerati non è riportato nulla riguardo i sistemi di illuminazione. Per rendere più completa la procedura di analisi si potrebbe integrare questo aspetto valutando le possibili ripercussioni sull'ambiente poiché tutte le piste attraversano delle aree naturali o dei parchi.

34 EuroVelo 12, North Sea Cycle Route, <https://en.eurovelo.com/ev12>

35 EuroVelo Route Development Status Report, European Cyclists' Federation, 2023, pag. 2



Fig.9 Percorsi Eurovelo, da EuroVelo, the European cycle route network, 2024, www.eurovelo.com

Le 17 piste che attualmente compongono il network dell'EuroVelo vengono organizzate in base al livello di sviluppo per quanto riguarda la segnaletica, la pianificazione dei percorsi e il numero di chilometri.

10 piste che sviluppano da Nord a Sud:

- EuroVelo 1- Atlantic Coast Route : 10,659 km
- EuroVelo 3 - Pilgrims Route: 5,650 km
- EuroVelo 5 - Via Romea (Francigena): 3,250 km
- EuroVelo 7 - Sun Route: 7,650 km
- EuroVelo 9 - Baltic-Adriatic: 2,050 km
- EuroVelo 11 - East Europe Route : 6,750 km
- EuroVelo 13 - Iron Curtain Trail : 10,550 km
- EuroVelo 15 - Rhine Cycle Route : 1,450 km
- EuroVelo 17 - Rhone Cycle Route : 1,000 km
- EuroVelo 19 - Meuse Cycle Route : 1,050 km

5 piste che sviluppano da Est a Ovest:

- EuroVelo 2 - Capitals Route: 5,050 km
- EuroVelo 4 - Central Europe Route : 5,050 km

- EuroVelo 6 - Atlantic-Black Sea: 4,700 km
- EuroVelo 8 - Mediterranean Route: 7,350 km
- EuroVelo 14 - Waters of Central Europe: 1,150 km

2 percorsi ciclabili ad anello:

- EuroVelo 10 - Baltic Sea Cycle Route : 9,150 km
- EuroVelo 12 - North Sea Cycle Route: 7,250 km

Annualmente, in base ai dati raccolti dall'ECS, vengono pubblicati dei report per valutare lo stato delle piste ciclabili, i miglioramenti che si verificano durante gli anni e i dati statistici relativi al loro utilizzo.

Uno dei dati più significativi emersi dai report recenti è l'aumento del 10% nel numero di ciclisti che hanno utilizzato le piste EuroVelo nel 2023 rispetto al 2019.³⁷ Questo incremento, particolarmente evidente in primavera e estate, mostra che sempre più persone scelgono la bicicletta non solo per il piacere e il turismo, ma anche per gli spostamenti giornalieri in alternativa ai mezzi pubblici.

37 EuroVelo Usage Monitoring Report, European Cyclists' Federation, 2023, pag. 3

1.4 Situazione in Italia

In Italia, secondo il sondaggio Ipsos del Maggio 2022, il **37%** delle persone³⁸ utilizza la bicicletta almeno una volta alla settimana per recarsi al lavoro o per svolgere attività fisica, questo valore però si riduce al 13% nel caso di un tragitto breve (circa 2 km). In questo caso le persone preferiscono camminare a piedi (42%) o utilizzare l'automobile (29%).³⁹

38 Report Ipsos, Cycling across the world. A 30-country Global Advisor survey, 2022, pag.3

La propensione verso l'utilizzo della bicicletta non presenta un andamento uniforme in tutta la penisola: più del 5% dichiara di spostarsi in bici giornalmente prevalentemente nelle regioni del Nord Italia come il Trentino-Alto Adige, l'Emilia Romagna, il Friuli Venezia Giulia e il Veneto. Nonostante l'andamento frammentato che caratterizza l'Italia riguardo la mobilità ciclabile, la maggior parte degli italiani è consapevole dei benefici ambientali che derivano dal suo utilizzo, infatti, l'88% della popolazione sostiene che l'uso della bicicletta giochi un ruolo importante nella riduzione delle emissioni di CO₂.⁴⁰

39 Report Ipsos, Cycling across the world. A 30-country Global Advisor survey, 2022, pag. 16

Questi dati mostrano il crescente interesse nei confronti della mobilità sostenibile e la volontà di privilegiare l'uso di mezzi di trasporto ecologici che riducano le emissioni di gas serra e gli impatti ambientali. Di conseguenza, le amministrazioni locali nazionali sono sempre più consapevoli dell'importanza di promuovere la sostenibilità nei propri territori attraverso lo sviluppo e la valorizzazione di ciclovie di media e lunga percorrenza.

40 Report Ipsos, Cycling across the world. A 30-country Global Advisor survey, 2022, pag. 19

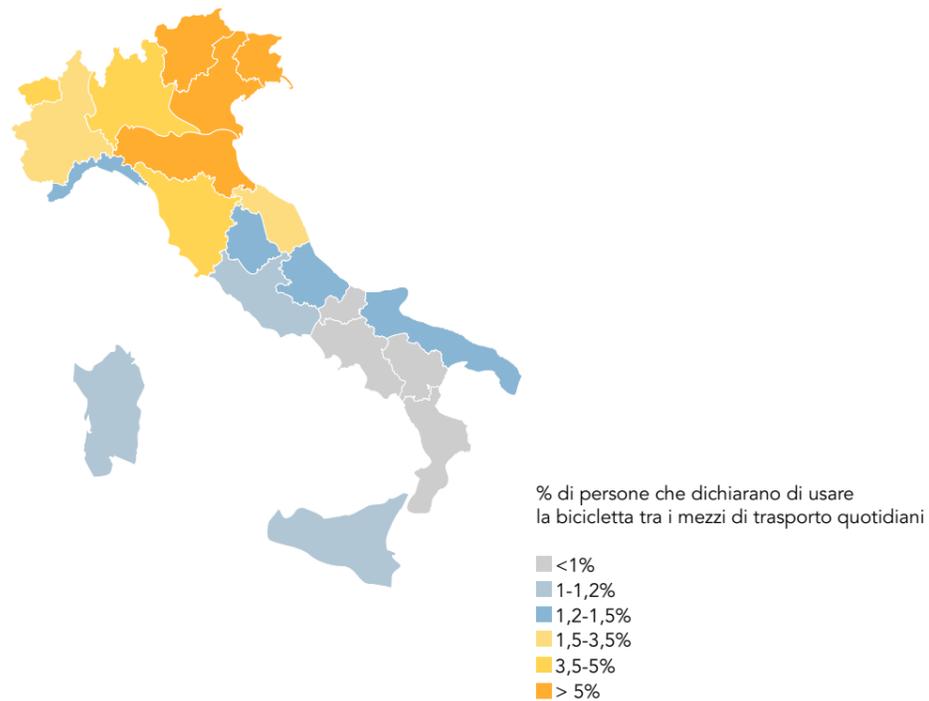


Fig. 10
Elaborazione personale da Regione Piemonte, Piano Regionale della Mobilità Ciclistica, 2023

La gestione e il potenziamento dei percorsi ciclabili viene gestita a livello nazionale dal **"Piano Generale della Mobilità Ciclistica"** (2022-2024), emanato con l'obiettivo generale di creare un Sistema Nazionale della Mobilità Ciclistica (SNMC) e "rendere, ad ogni livello, la mobilità ciclabile una componente fondamentale del sistema modale sostenibile per l'Italia, con caratteristiche di accessibilità, efficienza trasportistica ed economica, positivo impatto ambientale, strumento ad ampia accessibilità sociale e a basso costo economico."⁴¹

La strategia nazionale riguardo la mobilità ciclabile è stata emanata a partire da quanto previsto dalla legge dell'11 gennaio 2018, n. 2 "Disposizioni per lo sviluppo della mobilità in bicicletta e la realizzazione della rete nazionale di percorribilità ciclistica" e facendo riferimento alle azioni proposte all'interno del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, in particolare la missione "Rivoluzione verde e transizione economica" che prevede al punto 4.1 gli investimenti relativi al "Rafforzamento della mobilità ciclistica".

A partire da questi documenti sono stati sviluppati diversi obiettivi per definire ed uniformare gli interventi a livello nazionale, regionale e locale. Gli obiettivi si differenziano, secondo una logica gerarchica in:⁴²

-Obiettivi strategici: riassumono le linee guida generali nel lungo periodo.

-Obiettivi generali: indicano la declinazione nel medio periodo degli obiettivi strategici.

-Obiettivi specifici: la loro validità è estesa ai tre anni di validità del Piano.

A **livello nazionale**, tutti gli obiettivi del Piano sono rivolti al rafforzamento

41 Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, Piano Generale della Mobilità Ciclistica urbana e extraurbana, 2022, pag. 6

42 Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, Piano Generale della Mobilità Ciclistica urbana e extraurbana, 2022, pag. 39

e all'ampliamento dei tracciati della Rete Ciclabile Nazionale - Bicalitalia. Questi interventi mirano alla creazione di un sistema di piste ciclabili coerente e connesso a livello regionale e europeo, rendendo più accessibile l'ingresso ai centri urbani, ai luoghi di interesse storico-artistico e naturalistico, e ad altri punti di interesse per il turismo. Incentivando il turismo è possibile favorire lo sviluppo territoriale ed economico.

OBIETTIVI STRATEGICI	OBIETTIVI GENERALI	OBIETTIVI SPECIFICI
Sviluppo della mobilità ciclistica di lunga percorrenza e del cicloturismo	Promuovere la realizzazione di itinerari di lunga percorrenza interconnessi tra loro valorizzando le ciclovie esistenti;	Assegnazione delle risorse già identificate dal PNRR, sulla base della pianificazione definita con le Regioni e Province autonome ai sensi dell'art. 4, comma 4, della legge 2/2018
		Configurazione di dettaglio della rete Bicalitalia
Integrazione delle infrastrutture esistenti (nazionali e regionali) con la RCN - Bicalitalia	Promuovere il completamento dei percorsi ciclabili tra Regioni e Province autonome diverse;	Integrazione della RCN-Bicalitalia con ulteriori percorsi e progetti di ambito regionale e/o locale
		Collegare i poli urbani e turistici del Paese
Integrazione delle infrastrutture esistenti (nazionali e regionali) con la RCN - Bicalitalia	Attivare progetti per l'integrazione modale tra la mobilità ciclistica e la rete di trasporto pubblico locale e ferroviario	Integrare la RCN - Bicalitalia ai sistemi di mobilità urbana, metropolitana, Provinciale e regionale
		Ampliare la RCN con l'inserimento dell'"Appennino bike-tour"
		Valutazione di altri itinerari di potenziale interesse nazionale
Supportare lo sviluppo delle reti ciclistiche regionali	Supportare lo sviluppo delle reti ciclistiche regionali	Promuovere le connessioni tra le principali attrazioni turistiche e le aree naturali protette con la RCN
		Incentivare progettualità che propongano progetti di riuso e rilancio in sede locale di aree ad interesse turistico
		Interconnettere la RCN con la rete europea
		Promuovere la connessione con i centri urbani e i nodi di interscambio intermodale
		Recuperare i vecchi tracciati e le infrastrutture storiche

Fig.11
Obiettivi a livello nazionale del "Piano generale della Mobilità Ciclistica urbana e extraurbana"

Inoltre, il piano definisce gli obiettivi a **livello urbano e metropolitano** concentrandosi sullo sviluppo della rete di trasporti ciclabili accessibile e sicuro all'interno della città. Questi interventi hanno come finalità quella di incrementare il numero degli spostamenti in bici verso il posto di lavoro, la scuola e nel tempo libero.

OBIETTIVI STRATEGICI	OBIETTIVI GENERALI	OBIETTIVI SPECIFICI
Aumento del numero degli spostamenti in bicicletta	Consolidare la rete infrastrutturale ciclabile	Attuare le attività di pianificazione della mobilità ciclistica urbana e metropolitana (Biciplan)
		Aggiornare gli standard della legislazione urbanistica ed edilizia
		Definire un programma di finanziamenti statali
		Definire un modello nazionale di calcolo della ripartizione modale
		Coordinare ed aggiornare il Codice della Strada
		Adottare metodologie di sperimentazione per la realizzazione di un sistema di mobilità ciclistica di buona qualità
		Promuovere la condivisione di buone pratiche per lo sviluppo mobilità sostenibile
	Promuovere, incentivare e sviluppare la mobilità ciclistica in ambito urbano e metropolitano	Favorire la realizzazione un sistema di mobilità ciclistica di livello urbano e metropolitano
		Incrementare il numero di utenti che utilizzano la bicicletta per gli spostamenti entro i 5-10 km
		Incrementare il numero di studenti che utilizzano la bicicletta per gli spostamenti casa-scuola
		Attivare strumenti e strutture per la promozione e la pubblicizzazione della mobilità ciclistica
		Incentivare una logistica urbana sostenibile
		Promuovere e incentivare le nuove tecnologie (e-bike, ecc.)
	Accrescere l'accessibilità ciclabile sicura negli ambiti urbani e metropolitani	Incrementare lo sviluppo delle infrastrutture ciclabili per la condivisione sicura dello spazio stradale
		Consentire l'accessibilità attraverso la rete ciclabile urbana e metropolitana ai principali luoghi di interesse
		Incrementare i nodi e i luoghi di interscambio e di integrazione modale tra la rete ciclabile urbana
		Migliorare il livello di sicurezza delle infrastrutture ciclabili
		Identificare modelli standard per la qualificazione delle tipologie di itinerari ciclabile
		Superare il modello di itinerario ciclopedonale
		Favorire la multifunzionalità e la connettività attraverso la mobilità ciclistica delle infrastrutture verdi di ambito urbano

Fig.12
Obiettivi urbani e metropolitani del "Piano generale della Mobilità Ciclistica urbana e extraurbana"

Successivamente vengono presentate le **azioni specifiche** da adottare per la promozione della mobilità ciclistica e l'implementazione delle infrastrutture per il raggiungimento degli obiettivi precedentemente esposti.

Le principale linee di azione sono:⁴³

- Favorire** le **interconnessioni** tra la mobilità ciclistica e il trasporto ferroviario e il trasporto pubblico;
- Promuovere** il bike sharing;
- Attuare politiche** di tassazione degli accessi e della sosta per disincentivare l'uso dell'auto privata a favore del trasporto pubblico e della ciclabilità;
- Definire** il **limite** massimo di velocità a 30 km/h per le strade urbane e riorganizzare lo spazio della carreggiata per rendere la condivisione della strada a ciclisti e automobilisti più sicura;
- Definizione** di un **masterplan** a livello comunale a favore della mobilità ciclistica;
- Implementare** la **mobilità ciclistica scolastica** attraverso l'approvazione di piani di spostamento casa-scuola, il potenziamento della segnaletica, il miglioramento dell'accessibilità dei percorsi e degli attraversamenti pedonali e ciclabili lungo gli itinerari che conducono alle scuole, l'organizzazione degli spazi esterni alle scuole per ospitare rastrelliere e parcheggi per le biciclette;
- Sviluppare strategie comunicative** per la sensibilizzazione dei cittadini verso l'uso della bicicletta dotando le città di mappe con l'indicazione dei percorsi e tempi di percorrenza;
- Organizzare eventi** riguardo la mobilità sostenibile e ciclistica (Domeniche Ecologiche, Giornata nazionale della bicicletta, Settimana per della Mobilità Sostenibile, Mobility Week);
- Potenziare l'integrazione** della mobilità ciclistica e gli organismi sportivi;
- Implementare** il **cicloturismo** potenziando i servizi a favore dei ciclisti lungo i percorsi e la formazione di nuove figure professionali.

1.4.1 Rete Ciclabile Nazionale "Bicitalia"

Facendo riferimento alle piste EuroVelo, la penisola italiana è attraversata da tre percorsi che la collegano con il resto dell'Europa: EuroVelo 5 - Via Romea Francigena, EuroVelo 7 - Sun Route, EuroVelo 8 - Mediterranean Route.

L'idea di favorire la mobilità lenta e sviluppare i collegamenti con gli altri paesi europei è stata tradotta in Italia da FIAB, l'Associazione Italiana Ambiente e Bicicletta. FIAB è un'organizzazione ambientalista che collabora e supporta l'European Cyclists Federation, con la quale condivide l'obiettivo comune di promuovere l'uso della bicicletta per favorire la transizione ecologica.

Nel giugno del 2000, in seguito ad una conferenza tenuta a Torino, nasce

43 Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, Piano Generale della Mobilità Ciclistica urbana e extraurbana, 2022, pag. 70-77

il progetto Bicalia che ad oggi si articola in 20 itinerari per più di 23.000 km attraversando tutte le regioni italiane.

La ragione che ha portato alla nascita del progetto Bicalia riguarda i trasporti. Dal momento che questo settore è uno dei principali responsabili delle emissioni di gas serra, risulta fondamentale promuovere l'uso della bicicletta come mezzo di trasporto ecologico attraverso il consolidamento di una rete nazionale di percorsi ciclabili.

Inoltre è fondamentale attribuire la stessa importanza alla pianificazione delle reti di mobilità lenta integrate nel tessuto urbano in modo tale da promuovere un approccio ai trasporti più sostenibile e rispettoso dell'ambiente.

I percorsi sfruttati per il cicloturismo stimolano lo sviluppo economico, con un impatto positivo su settori come l'ospitalità, il ristoro, l'assistenza tecnica, l'accompagnamento di gruppi e l'editoria specializzata, come mappe e guide turistiche.

Dal punto di vista urbano, la realizzazione di una rete ciclabile basata sul recupero della viabilità minore già esistente o sul riuso di sedimi ferroviari dismessi permette di riqualificare aree abbandonate, restituendole alla comunità.⁴⁴

44 Bicalia, Il progetto: <https://www.bicalia.org/it/bicalia/il-progetto>



Fig. 13 Rete Bicalia, da <https://www.bicalia.org/it/bicalia/la-rete-ciclabile-nazionale-bicalia>

L'importanza di una rete ciclabile nazionale implica la necessità di uniformare le piste, attraverso l'applicazione di linee guida, di caratteristiche comuni, tipi di pavimentazione, segnaletica e impianti di illuminazione adeguati per questo motivo il Comitato Tecnico Scientifico di Bicalia ha definito otto criteri di appartenenza che le piste all'interno della rete ciclabile nazionale devono rispettare:⁴⁵

- Deve essere previsto un **futuro inserimento** all'interno del sistema **EuroVelo**;
- L'itinerario deve attraversare almeno **3 regioni**;
- Devono avere una lunghezza minima di **150 km**;
- Devono essere presenti **flussi cicloturistici consolidati**;
- L'itinerario deve essere già inserito o deve include una **ciclovie turistica** del SNCT (Sistema Nazionale CicloTuristico);
- L'itinerario deve svolgersi lungo un corridoio con **caratteristiche intermodali** (bici+treno o bus);
- L'itinerario deve includere tratti rilevanti su **ferrovie dismesse** o altro tipo di sedimi;
- L'itinerario giace nel corridoio di una **strada consolare romana**.

45 FIAB, Bicalia. 20 ciclovie per 20 regioni, 2019, pag. 6, da <https://www.slideshare.net/slideshow/bicalia-20-ciclovie-per-20-regioni/127688334#4>

1.4.2 Collegamenti ciclabili in Piemonte

Per introdurre il tema della mobilità ciclistica a scala urbana e comprendere il quadro generale all'interno del quale si inserisce la **città di Torino** è necessario individuare le caratteristiche delle piste a livello regionale. In questo caso, le azioni rivolte a valorizzare i percorsi ciclabili e favorire l'utilizzo delle bicicletta sono state raccolte all'interno del **Piano Regionale della Mobilità Ciclistica**.

Il Piano è uno strumento di pianificazione che riassume gli obiettivi e le strategie da perseguire per la realizzazione, la manutenzione e il coordinamento dei percorsi ciclabili, con l'obiettivo principale di aumentare l'uso della bicicletta dell'8% entro il 2030 e del 17% entro il 2050.⁴⁶

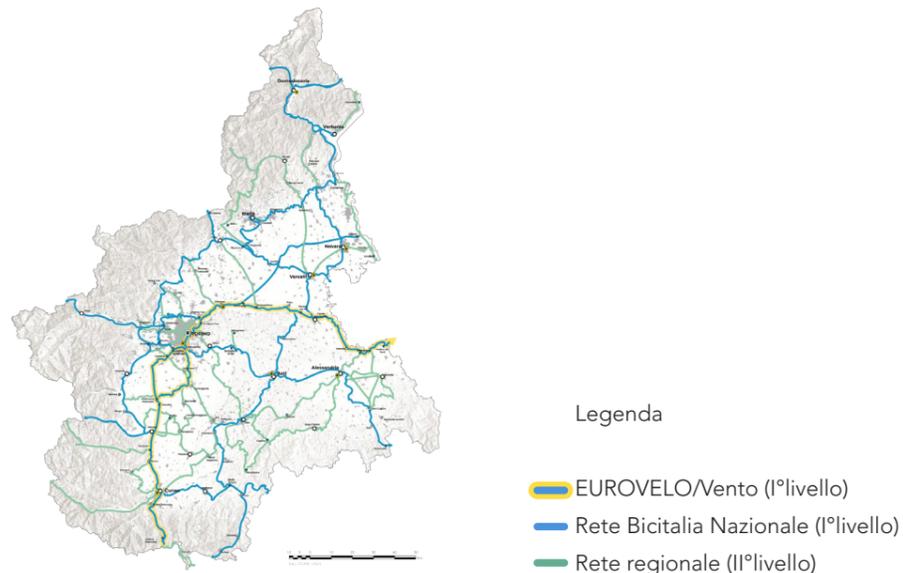
Il Piemonte dispone di un'infrastruttura ciclabile ampia e articolata in circa 1000 km percorsi dedicati, tuttavia, le sue potenzialità non sono valorizzate e sfruttate pienamente e l'utilizzo della bicicletta risulta ancora limitato poiché solo il 3,3% della popolazione piemontese dichiara di spostarsi in bici giornalmente.⁴⁷

I percorsi ciclabili a livello regionale si articolano in una rete molto fitta e classificata in maniera gerarchica in base all'uso prevalente che li caratterizza, sistematico o turistico. Le piste ciclabili si distinguono in:

- reti turistiche nazionali;
- reti d'interesse regionale;
- reti d'interesse locale e provinciale.

46 Regione Piemonte, Piano Regionale della Mobilità Ciclistica, 2023, pag. 7

47 Regione Piemonte, Piano Regionale della Mobilità Ciclistica, 2023, pag. 11



Le **reti nazionali di 1° livello** per il Piemonte coincidono con i percorsi della rete nazionale Bicalia e la rete EuroVelo.

I territori della città metropolitana di Torino sono infatti attraversati da l'Eurovelo 8, che collega il Portogallo alla Grecia, e quattro percorsi della rete Bicalia:

- Bicalia 2-Ciclovia del Po
- Bicalia 3-Ciclovia Francigena
- Bicalia 12-Ciclovia Pedemontana alpina
- Bicalia 20-Ciclovia AIDA

Un ulteriore collegamento a livello nazionale che nasce proprio dalla città di Torino lungo le sponde del Po è la ciclovia VENTO che collega Torino con la città di Venezia. In questo caso la loro funzione è prevalentemente turistica, poiché questi percorsi coprono lunghe distanze collegando dei poli culturali e paesaggistici di grande importanza. Queste **ciclovie turistiche** sono funzionali e finalizzate a promuovere la fruizione sostenibile del paesaggio, dei beni storici, culturali e ambientali del territorio da parte di turisti italiani e internazionali. Per questo tipo di piste, dal momento che gli utenti sono caratterizzati da velocità moderate si consiglia la realizzazione di percorsi in sede propria separate dalle corsie dedicate al traffico motorizzato.⁴⁸

Il **secondo livello** della rete regionale, a partire dalla Rete ciclabile nazionale Bicalia, individua una fitta rete di percorsi con una duplice funzione: alcune ciclovie collegano i principali poli attrattivi per favorire il **turismo lento**, altre vengono definite **sistematiche**.

Le reti per la mobilità sistematica assolvono una funzione di collegamento extraurbano per la mobilità tra casa, gli edifici scolastici e i luoghi di lavoro, per fornire un'alternativa all'uso dell'automobile per gli spostamenti che coprono brevi e medie distanze percorse quotidianamente.

I percorsi per la promozione della ciclabilità come risorsa turistica devono connettere le diverse attrazioni del territorio a livello regionale e i nodi di scambio infrastrutturale lungo il percorso.

Le reti ciclabili devono essere integrate con le altre reti esistenti per assicurare continuità, facilitare la mobilità sostenibile e contribuire alla riqualificazione urbana, creando ambienti accoglienti, verdi, sicuri dal punto di vista sociale. Anche nel caso delle reti di 2° livello si consiglia la separazione fisica tra flussi veicolari e ciclistici, sia in area extraurbana che lungo le principali arterie di traffico nelle aree urbane, per garantire maggiore sicurezza e fluidità del traffico ciclistico.⁴⁹

Le **reti di 3° livello** sono rappresentate da percorsi ciclabili di rilevanza **locale e metropolitana**, individuati e gestiti dagli Enti locali delle regioni che adottano dei piani urbani della mobilità ciclistica, ad esempio il PUMS e relativi piani di settore come il Biciplan.

All'interno delle "Linee guida progettuali del Piano Generale della Mobilità Ciclistica" questa tipologia di percorsi ciclabili viene differenziata ulteriormente in percorsi prioritari, percorsi secondari e greenways.

I **percorsi prioritari** costituiscono la base per l'articolazione della rete ciclabile comunale e svolgono il compito di collegare diverse parti della città e altri comuni lungo le principali direttrici di traffico.

I **percorsi secondari** rappresentano una rete complementare all'interno dei quartieri urbani, progettata per facilitare il movimento ciclabile senza necessariamente richiedere l'utilizzo di infrastrutture complesse o una separazione fisica tra ciclisti e veicoli.

Infine le **greenways** sono i percorsi locali pensati per il tempo libero e il turismo, volti a connettere le persone con le risorse naturali, paesaggistiche e culturali del territorio, ad esempio, in questa categoria, sono inclusi sentieri ciclabili in parchi e zone protette.

	RETE	ATTORI	NORMATIVA
LIVELLO EUROPEO	Eurovelo	European Cyclists' Federation (ECF)	EU Declaration on cycling
LIVELLO NAZIONALE	Rete Turistica Nazionale di 1^ livello → Bicalia e Eurovelo	Federazione Italiana Ambiente e Bicicletta (FIAB)	Piano Generale della Mobilità Ciclistica (PGMC)
LIVELLO REGIONALE	Reti Regionali di 2^ livello → reti pendolari e reti turistiche	Regione Piemonte	Piano Regionale della Mobilità Ciclistica (PRMC)
LIVELLO PROVINCIALE/COMUNALE	Reti locali di 3^ livello → percorsi prioritari, percorsi secondari e greenways	Città Metropolitana di Torino Comune di Torino	Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) Piano di settore: Biciplan

49 Regione Piemonte, Linee guida progettuali. Allegato A al Piano Regionale della Mobilità Ciclistica, 2023, pag 5

Fig.15 Tabella riassuntiva riguardo la mobilità ciclistica, elaborazione personale

48 Regione Piemonte, Linee guida progettuali. Allegato A al Piano Regionale della Mobilità Ciclistica, 2023, pag. 3

2. L'illuminazione delle piste ciclabili: obiettivi, esigenze e applicazioni progettuali

La mobilità ciclistica, la sua promozione e l'accessibilità da parte degli utenti si basa sui servizi a supporto delle infrastrutture. Tra questi la presenza di un sistema di **illuminazione stradale** dedicato al percorso ciclabile gioca un ruolo fondamentale per assicurare la loro **fruizione** nelle ore di buio.

Illuminando le piste ciclabili si incentiva l'uso della bicicletta come mezzo principale di trasporto in tutte le ore della giornata riducendo il rischio di incidenti, garantendo visibilità e la possibilità di orientarsi.

L'illuminazione stradale nasce come risposta alle **esigenze pratiche** di una società che comincia ad estendere le proprie attività ben oltre il tramonto, superando i limiti naturali imposti dall'oscurità, per creare un ambiente sicuro e funzionale per lavorare, muoversi e vivere anche nelle ore notturne.

A partire dalla diffusione dell'automobile negli anni 80' del XX secolo, l'illuminazione delle strade e degli spazi pubblici assume un ruolo prevalentemente funzionale ed era considerata necessaria per garantire sicurezza e visibilità.⁵⁰

Nel corso degli anni 80' si innesta un processo di evoluzione riguardo i temi dell'illuminazione strettamente legata ai mutamenti sociali, culturali e tecnologici che interessano le città, introducendo nuove prospettive sul ruolo della luce.

Prendendo ispirazione dalla lumière urbaine francese, l'illuminazione assume nuovi significati simbolici e comunicativi che la trasformano in uno strumento di valorizzazione estetica.⁵¹

Le molteplici complessità connesse al tema dell'illuminazione rendono necessaria la sua trattazione a partire dagli obiettivi che essa possiede. Successivamente, è possibile entrare nel dettaglio dell'analisi dei sistemi di illuminazione per le piste ciclabili e la loro progettazione che si basa sulla conoscenza delle tipologie di utenti e delle loro esigenze.

2.1 Obiettivi dell'illuminazione urbana

I sistemi di illuminazione rivestono un ruolo fondamentale nel definire la qualità della vita nelle città, influenzando profondamente lo svolgimento delle attività quotidiane e la percezione degli spazi.

La duplice natura dei sistemi di illuminazione è legata alla loro capacità di soddisfare sia esigenze funzionali che estetiche.

All'interno del "Manuale di progettazione illuminotecnica", Marco Frascarolo distingue questi due aspetti dell'illuminazione attraverso i concetti di **illuminazione pubblica** e **illuminazione urbana**. La differenza principale tra i due termini è legata all'**obiettivo progettuale**. L'illuminazione pubblica è essenzialmente **funzionale**, il suo scopo è quello di garantire la sicurezza e la fruibilità degli spazi esterni, nel rispetto delle normative e dei limiti imposti ai parametri di illuminamento e luminanza. Questo tipo di illuminazione, concepito per assicurare condizioni ottimali di visibilità, si applica prevalentemente a contesti come strade, zone pedonali e aree di passaggio.



Fig. 1 Illuminazione stradale a Sion da <https://it.schreder.com/it/progetti/adaptive-street-lighting-enhances-safety-energy-use-sion>

L'illuminazione urbana si articola in molteplici dimensioni, strettamente legate ai temi della **valorizzazione**, della comunicazione e della riqualificazione degli spazi pubblici.

Alla base dell'illuminazione urbana è presente il concetto di spazio pubblico inteso come il luogo delle relazioni e in cui assume un ruolo centrale l'interazione tra individuo e spazio.

L'approccio progettuale dell'illuminazione urbana include una riflessione più ampia sulle esigenze del soggetto e sulle funzioni che esso svolge all'interno dello spazio. La luce, in questa prospettiva, diventa un mezzo per creare connessioni tra l'utente e l'ambiente circostante, influenzandone la percezione.⁵²

52 Frascarolo M., Manuale di progettazione. Illuminotecnica., Mancosu Editore, Roma, 2010, pag. G231

50 Frascarolo M., Manuale di progettazione. Illuminotecnica., Mancosu Editore, Roma, 2010, pag. G232

51 Frascarolo M., Manuale di progettazione. Illuminotecnica., Mancosu Editore, Roma, 2010, pag. G232



Fig. 2
Scuola Tecnica di Tempere,
Finlandia da [https://
www.iguzzini.com/it/
progetti/galleria-progetti/
l%E2%80%99istituto-tecnico/](https://www.iguzzini.com/it/progetti/galleria-progetti/l%E2%80%99istituto-tecnico/)

Un secondo aspetto di divergenza riguarda la **distribuzione delle fonti luminose**. Nel caso dell'illuminazione pubblica gli apparecchi sono solitamente disposti in sequenza creando un **reticolo ordinato** e regolare che si sviluppa lungo la carreggiata stradale.

L'illuminazione urbana è caratterizzata da una **disposizione puntuale** e selettiva degli apparecchi che si concentra su elementi del paesaggio e dettagli architettonici con il fine di valorizzarli.

Nello specifico, dal punto di vista funzionale, i sistemi di illuminazione devono garantire:

- L'**agibilità** e la **fruizione** delle aree permettendo alle persone di individuare gli ostacoli, altri oggetti in movimento sulla carreggiata, le caratteristiche del terreno e del manto stradale riducendo i rischi di collisione.

- La **sicurezza**. Un'illuminazione adeguata deve permettere non solo di vedere chiaramente ciò che ci circonda, ma anche di distinguere le sembianze e i dettagli principali delle persone per individuare possibili situazioni di pericolo, aumentando il senso di controllo e protezione. La luce influenza anche la sensazione di sicurezza nel momento in cui si sceglie di percorrere un percorso più illuminato ed evitarne un altro buio.



Fig. 3
Attraversamento pedonale a
Granada, Spagna da [https://
it.schreder.com/it/progetti/
smart-lighting-helps-motril-
achieve-sustainability-
goals#group=nogroup&photo=6](https://it.schreder.com/it/progetti/smart-lighting-helps-motril-achieve-sustainability-goals#group=nogroup&photo=6)

- L'**orientamento** e la comprensione dello spazio. L'impianto di illuminazione deve essere progettato per permettere alle persone di identificare il contesto fisico in cui si trovano, individuare punti di riferimento visivi per muoversi con più facilità nello spazio urbano.

Dal punto di vista estetico i sistemi di illuminazione possono garantire:

- La **valorizzazione** dell'ambiente, dei beni artistici e naturali. Un'illuminazione ben progettata diventa uno strumento per guidare lo sguardo e focalizzare l'attenzione su dettagli significativi, costruendo l'immagine del paesaggio notturno.

Attraverso l'utilizzo dei contrasti tra zone illuminate e zone d'ombra, l'illuminazione può sottolineare i particolari architettonici, dando risalto a forme, volumi e textures.



Fig. 4
Illuminazione del Colle
dell'Infinito a Recanati, Italia
da [https://www.iguzzini.com/
it/progetti/galleria-progetti/
la-luce-della-luna-per-il-colle-
dell%E2%80%99infinito/](https://www.iguzzini.com/it/progetti/galleria-progetti/la-luce-della-luna-per-il-colle-dell%E2%80%99infinito/)

- **Riqualficazione** degli spazi, infatti, “[...] la luce elettrica rappresenta una componente sostanziale degli interventi di riqualficazione e di restauro proprio per la sua capacità di esaltare i particolari e di ricomporre gli insiemi, di ricostruire la suggestione dimenticata dei luoghi e di riproporre le gerarchie di senso originarie ormai difficili da leggere nel caos della percezione diurna”.⁵³ Integrata al progetto urbano, l’illuminazione contribuisce all’immagine della città accogliente e vivibile anche nelle ore serali.



Fig. 5
Rigenerazione del centro di Tournai, da <https://it.schreder.com/it/progetti/shuffle-smart-poles-help-regenerate-tournai-city-centre>

- **Espressione e comunicazione.** L’illuminazione urbana si lega ai temi dell’arte e della comunicazione, come dimostrano progetti iconici quali le “Luci d’Artista” di Lione. Questo tipo di iniziative permette alla città di raccontarsi attraverso la valorizzazione del proprio patrimonio storico e culturale.



Fig. 6
Luci d’artista, Lione, Dicembre 2023, foto personale

2.2 Illuminare le piste ciclabili

All’interno del tema dell’illuminazione stradale, quello relativo alle piste ciclabili è attualmente oggetto di costante sviluppo e ricerca poiché la progettazione dell’illuminazione delle piste riveste un ruolo fondamentale per la realizzazione di infrastrutture sicure ed efficienti e la bicicletta viene utilizzata sempre più frequentemente come mezzo di trasporto quotidiano. Questo tema viene affrontato all’interno di manuali tecnici e linee guida che forniscono, a partire dalle normative nazionali, i parametri e le specifiche per la progettazione di piste ciclabili e dei sistemi di illuminazione.

Dalla lettura dei documenti, in questo caso vengono analizzati testi adottati in Nord America ed Europa, è possibile individuare gli **elementi chiave della progettazione**, e definire un panoramica degli aspetti che devono essere considerati per un sistemi di illuminazione capace di rispondere alle esigenze degli utenti e del contesto.

Il tema dell’illuminazione delle piste ciclabili viene esaminato non in modo isolato ma è inserito all’interno di una trattazione più ampia che riprende una serie di temi comuni tra cui i requisiti geometrici delle piste, le caratteristiche della pavimentazione, le aree di sosta, gli attraversamenti ciclabili, la segnaletica verticale e orizzontale, e la manutenzione.

La città di Torino, all’interno del Piano Urbano della Mobilità Ciclabile, riporta i requisiti minimi per la progettazione degli impianti come la luminanza e l’illuminamento medio e l’intensità luminosa, facendo riferimento alle categorie illuminotecniche e ai requisiti prestazionali delle norme UNI 11248-2016 e UNI EN 13201-2 2016.

Nel momento in cui si imposta il lavoro di progettazione di un sistema di illuminazione per percorsi ciclabili, è necessario prendere in considerazione sia le esigenze dei utenti, di risparmio energetico che le prescrizioni illuminotecniche vigenti.

Un approfondimento viene dedicato alla **disposizione degli apparecchi**. Gli impianti possono presentare una disposizione unifilare, cioè lungo un unico lato, o quinconce. In questo caso i centri luminosi sono disposti in modo sfalsato lungo entrambi i lati della carreggiata. Nel dettaglio, il **rapporto fra l’interdistanza e l’altezza delle sorgenti** luminose deve essere ≥ 3.7 per garantire una distribuzione uniforme della luce.⁵⁴

L’**altezza raccomandata** per i pali di illuminazione è compresa tra 4-5 m cercando di indirizzare la luce solamente verso il percorso ciclabile e limitando le dispersioni nell’ambiente circostante. Considerando questo intervallo di altezze, la **distanza minima tra i pali** dovrebbe essere di circa 15-20 metri.⁵⁵

⁵⁴ Regione Piemonte, Linee guida progettuali. Allegato A al Piano Regionale della Mobilità Ciclistica, pag. 123

⁵⁵ Regione Piemonte, Linee guida progettuali. Allegato A al Piano Regionale della Mobilità Ciclistica, pag. 123

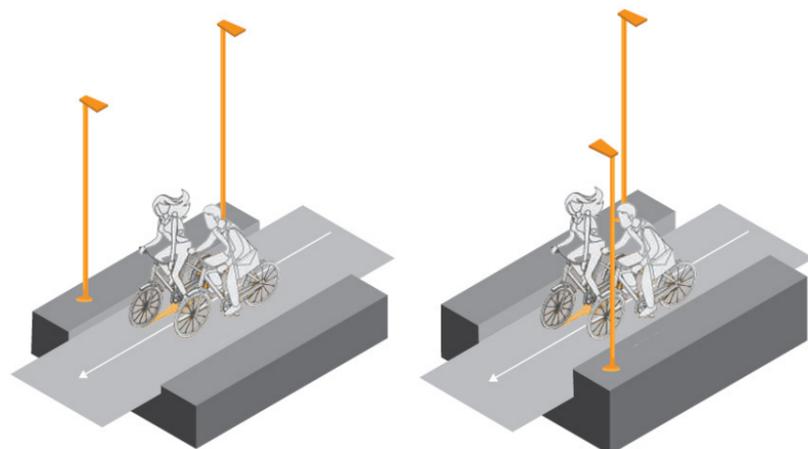


Fig. 7
Disposizione degli apparecchi da Regione Piemonte, Linee guida progettuali. Allegato A al Piano Regionale della Mobilità Ciclistica, pag. 123

Infine la **distanza minima** tra il palo e il limite del percorso non deve superare i 0.5 metri. Questa indicazione garantisce che i pali siano sufficientemente vicini al percorso per fornire un'illuminazione efficace senza però creare ostacoli per i veicoli e i pedoni.⁵⁶

L'**Irlanda** ha a disposizione un manuale, "Cycle Design Manual", riferito alla progettazione delle piste ciclabili che presenta una sezione dedicata al tema dell'illuminazione. Un tema ricorrente anche in questo testo riguarda la posizione dei pali, per i quali è fondamentale evitare che ostacolino il passaggio dei ciclisti e pedoni. Il manuale raccomanda una distanza minima compresa tra 0.5-1 m tra i pali di illuminazione e la pista ciclabile.⁵⁷ Nel caso in cui non sia possibile collocare i pali all'esterno del marciapiede è necessario che siano posizionati sul retro dello stesso e siano regolati opportunamente per garantire i livelli di illuminazione richiesti dalla carreggiata. Inoltre, viene sottolineata l'importanza di evitare il posizionamento delle colonne luminose in prossimità di alberi che potrebbero ostacolare la diffusione della luce.

L'illuminazione dedicata è imprescindibile in specifiche condizioni: quando la pista ciclabile si trova a oltre 2.0 m dalla carreggiata stradale, in presenza di tratti non rettilinei o non illuminati o nei casi in cui la pista diverge dalla carreggiata seguendo un percorso indipendente. Particolare attenzione deve essere riservata agli attraversamenti, che devono essere adeguatamente illuminati per mettere in evidenza la presenza e i movimenti di pedoni e ciclisti, soprattutto nei punti in cui l'illuminazione generale della carreggiata risulti insufficiente.⁵⁸

Infine il manuale sottolinea l'importanza di minimizzare gli effetti che dell'illuminazione lungo le piste ciclabili possono avere sull'ambiente circostante. I progettisti devono considerare soluzioni alternative come l'utilizzo di sistemi intelligenti che consentano di controllare l'accensione,

l'intensità e la temperatura di colore della luce in funzione delle reali necessità. Questo approccio non solo preserva gli ecosistemi locali, ma contribuisce anche a promuovere un uso più sostenibile dell'energia.⁵⁹ Per riassumere, come viene riportato all'interno del "British Columbia Active Transportation Design Guide" per la progettazione di un impianto di illuminazione per le piste ciclabili si devono considerare⁶⁰:

-La **posizione e distanza degli apparecchi** lungo il percorso: un aspetto fondamentale riguarda il posizionamento dei corpi illuminanti che devono essere collocati strategicamente per illuminare al meglio le zone di conflitto, la segnaletica e le intersezioni. La disposizione degli apparecchi deve garantire uniformità luminosa, riducendo l'abbagliamento e le zone ombre, per favorire la visiva da parte degli utenti;

-Il **contesto locale**: i sistemi di illuminazione devono integrarsi con l'ambiente circostante limitando l'inquinamento luminoso;

-La **sicurezza**: una buona illuminazione contribuisce a migliorare la percezione di sicurezza durante gli spostamenti notturni e la visibilità del percorso, permettendo gli utenti ad individuare potenziali pericoli e a ridurre il rischio di collisioni;

-Gli **utenti**: i ciclisti sono una categoria di utenti della strada che si differenzia per una moltitudine di esigenze che devono essere soddisfatte dal sistema di illuminazione e dall'infrastruttura ciclabile. Per garantirne l'accessibilità e promuoverne l'utilizzo è necessario che il sistema di illuminazione favorisca il comfort visivo, la buona percezione degli oggetti e degli ostacoli.

Dalla revisione delle linee guida emerge che i sistemi di illuminazione stanno acquisendo un'importanza crescente e stanno assumendo il ruolo di supporto all'infrastruttura ciclabile sempre più evidente. L'obiettivo è rendere l'uso della bicicletta più attrattivo e accessibile durante le ore di buio, incentivando un maggiore utilizzo della bicicletta come mezzo di trasporto sostenibile.

2.3 Quadro delle esigenze e parametri

2.3.1 Tipologie di utenti ed esigenze

Un percorso ciclabile accessibile e inclusivo considera attentamente le **esigenze degli utenti**, creando uno spazio che possa essere fruito in modo sicuro e agevole per tutti.

I ciclisti si differenziano in molteplici categorie che variano in base a fattori come l'età, le abilità motorie e le capacità cognitive, e di conseguenza presentano esigenze specifiche da soddisfare.

Gli utenti delle piste ciclabili si possono differenziare in diverse categorie:

59 National Transport Authority, Cycle Design Manual, Irlanda, 2023, pag. 164

60 Government of British Columbia, British Columbia Active Transportation Design Guide. H. Amenities + Integration, 2024, pag. H70-H73

56 Regione Piemonte, Linee guida progettuali. Allegato A al Piano Regionale della Mobilità Ciclistica, pag. 123

57 National Transport Authority, Cycle Design Manual, Irlanda, 2023, pag. 162

58 National Transport Authority, Cycle Design Manual, Irlanda, 2023, pag. 162

- ciclista pendolare;
- ciclista ricreativo;
- ciclista sportivo;
- ciclista turistico;
- bambini;
- anziani;
- corrieri/rider;
- utenti di bici elettriche.

Il **ciclista pendolare**, o ciclista "tipo" utilizza la bicicletta principalmente per recarsi al lavoro o a scuola. Questo utente ha la necessità di spostarsi in modo rapido ed efficiente, mantenendo velocità medie sostenute. Dotato di riflessi pronti e di un'ottima padronanza del mezzo, il ciclista pendolare predilige percorsi diretti e ben organizzati, che facilitino i suoi spostamenti quotidiani.

I **ciclisti turistici o ricreativi** si spostano per trascorrere un'esperienza piacevole alla scoperta di nuovi territori e tradizioni. Questo gruppo ha a disposizione tempi più dilatati ma necessita di un'infrastruttura altamente organizzata. Oltre a piste ciclabili sicure, sono fondamentali servizi come aree di sosta, punti di ristoro, strutture per il pernottamento e spazi dedicati alla manutenzione della bicicletta.

Coloro che praticano **ciclismo sportivo** solitamente percorrono dei percorsi su strada, fuori pista o dei percorsi ciclabili dedicati allo svolgimento dell'attività fisica che richiede delle velocità molto elevate. In questo modo è possibile garantire la loro sicurezza e quella degli altri utenti della strada limitando i conflitti.

I **bambini** sono tra gli utenti più vulnerabili poiché, a causa della giovane età, non sono ancora a conoscenza delle regole della strada e non hanno una percezione completa dei rischi presenti nell'ambiente.

Per questa tipologia di utenti, è essenziale prevedere percorsi sicuri, in particolare le zone di conflitto come attraversamenti e rotatorie, separati dal traffico veicolare.

Sono vulnerabili, in questo caso per le capacità fisiche limitate e i tempi di reazione più lunghi, anche gli **anziani**. Per questa categoria è essenziale progettare infrastrutture sicure, dotate di segnaletica chiara e facilmente riconoscibile, prive di ostacoli e irregolarità del terreno per ridurre gli sforzi fisici e prevenire potenziali incidenti.

Con la diffusione delle applicazioni per ordinare cibo e articoli che vengono recapitati a casa aumenta il numero di **rider** o operatori che si spostano utilizzando la bicicletta. Come per i ciclisti pendolari, anche per i rider è fondamentale disporre di percorsi sicuri, veloci e continui,

dotati di spazio sufficiente per facilitare le manovre e le soste.

Infine, percorrono sempre più di frequente le piste ciclabili anche **utenti di mezzi elettrici** che si spostano a velocità più elevate rispetto ad una bicicletta. Le infrastrutture, per accogliere questa categoria di utenti, devono avere dimensioni adatte per consentire il passaggio e gli spostamenti veloci evitando il contatto con gli altri utenti.⁶¹

61 Le informazioni relative alle diverse categorie di utenti sono tratte da Regione Piemonte, Linee guida progettuali. Allegato A al Piano Regionale della Mobilità Ciclistica, 2023, pag.17-18

	Velocità media	Stabilità	Tempi di reazione	Capacità accelerativa	Vulnerabilità	Ingombro sulla pista
 Ciclista pendolare	15-20 km/h	Buona/Ottima	Rapidi	Medio/Alta	Bassa	0.75/m
 Ciclista sportivo	>25 km/h	Buona/Ottima	Rapidi (variano in base alla velocità)	Alta	Media	0.75/m
 Ciclista turistico	12-20 km/h	Buona/Ottima	Rapidi	Alta	Bassa	0.75/m
 Ciclista ricreativo	12-20 km/h	Buona/Ottima	Rapidi	Alta	Bassa	0.75/m
 Bambini	10-15 km/h	Buona	Medio/Lunghi	Buona	Alta	0.75/1.8m (con eventuale accompagnatore)
 Anziani	<12 km/h	Bassa	Lunghi	Bassa	Alta	0.75/m
 Corrieri/rider	12-20 km/h	Buona	Rapidi	Media	Media	Variabile (fino a 1.3-1.5)
 Utenti di mezzi elettrici	15-25 km/h	Ottima	Rapidi (variano in base alla velocità)	Alta	Medio/Bassa	0.7/m

Fig. 8 Elaborazione personale da Regione Piemonte, Linee guida progettuali. Allegato A al Piano Regionale della Mobilità Ciclistica

2.3.2 Caratteristiche della visione

Nella progettazione dell'illuminazione pubblica stradale è essenziale tenere in considerazione l'influenza che la luce esercita sulla percezione dell'ambiente, che varia significativamente tra il giorno e la notte.

Di giorno, il paesaggio si rivela nella sua interezza, offrendo una visione d'insieme che permette di cogliere **globalmente lo spazio**. Successivamente, l'attenzione si sposta sui dettagli seguendo una progressione visiva che avviene in modo naturale o influenzato dalla prospettiva, la composizione dello spazio, le condizioni meteorologiche e la qualità della luce naturale. L'illuminazione naturale crea un'esperienza visiva dinamica dove lo sguardo può volgersi liberamente in ogni direzione.⁶²

Di notte, la percezione dell'ambiente cambia radicalmente poiché non è possibile cogliere la sua globalità, la visione avviene in modo **frammentato** guidata dai punti luminosi. L'occhio è attirato dalle fonti di luce più intense, per poi spostarsi verso le aree meno illuminate e, infine, verso quelle immerse nell'oscurità. La visione notturna è fortemente condizionata dal livello di luminosità della scena, dai contrasti tra i soggetti e lo sfondo, e dal tempo necessario all'occhio per adattarsi alle condizioni di illuminazione. La perdita della visione panoramica implica una riduzione dello spazio percepito e costringe a concentrarsi su porzioni limitate dell'ambiente. La percezione localizzata notturna è guidata dall'impianto di illuminazione che indirizza l'attenzione verso i punti luminosi e gli elementi illuminati.⁶³

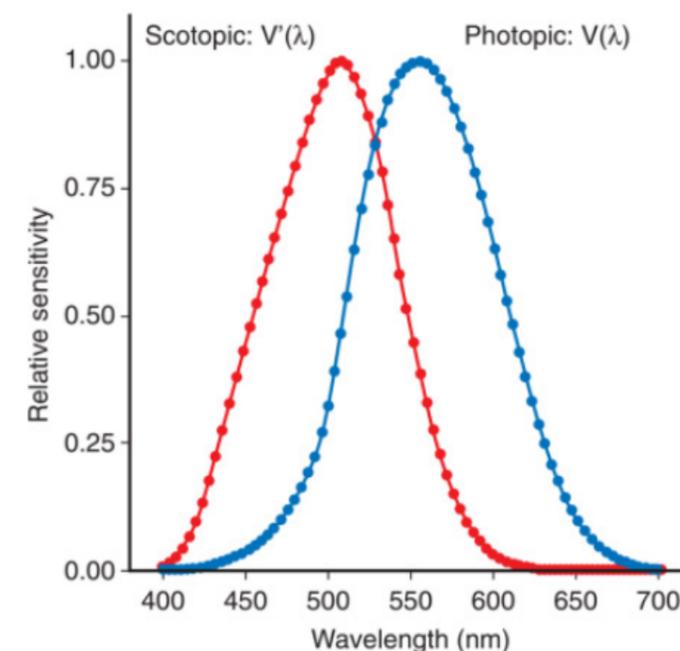
La visione è un processo complesso che coinvolge diversi fenomeni fisici e fisiologici, in cui la luce gioca un ruolo fondamentale. In base alla luminosità del contesto, l'occhio umano si adatta contraendo o rilasciando la pupilla per regolare la quantità di luce necessaria per vedere.

I fotorecettori, coni e bastoncelli, contenuti nella retina sono attivati da impulsi luminosi avviando il processo visivo. I coni, attivi durante la visione diurna o fotopica, sono sensibili a intensità luminose medie o elevate e hanno una risposta rapida, pari a circa 25 millisecondi. Essi sono responsabili della percezione dei colori e dei dettagli. I bastoncelli, invece, sono responsabili della visione notturna o scotopica. Essi sono situati nella parte periferica della retina, sono estremamente sensibili a bassi livelli di luminosità, ma reagiscono più lentamente, con una velocità di circa 200 millisecondi. I bastoncelli non consentono di distinguere i colori ma sono essenziali per percepire forme e movimenti in condizioni di scarsa illuminazione.

Entrambi i fotorecettori restano sempre attivi, ma il nostro cervello elabora i segnali luminosi provenienti dall'ambiente esterno attivando coni o bastoncelli. Questo equilibrio tra i due sistemi visivi consente all'occhio umano di adattarsi a un'ampia gamma di situazioni luminose, dalle intensità estremamente basse alle intensità più elevate della visione diurna.⁶⁴

Oltre alla sensibilità nei confronti della quantità di luce, coni e bastoncelli presentano una diversa sensibilità spettrale.

In condizioni di luminosità diurna lo spettro di sensibilità dei coni presenta un picco a 555 nm in corrispondenza delle lunghezze d'onda di colore verde-giallo, mentre i bastoncelli, per la visione scotopica, presentano una sensibilità massima a 507 nm.⁶⁵



64 Frascarolo M., Manuale di progettazione. Illuminotecnica., Mancosu Editore, Roma, 2010, pag. A52-A54

65 Cao D., Color vision and night vision. In Schachat A. P. et al. (a cura di), Ryan's RETINA, ELSEVIER, 2018, pag.326-327

Fig. 9 Funzioni di efficienza luminosa spettrale relativa per la visione fotopica e scotopica adottate da CIE. da Cao D., Color vision and night vision, in Schachat A. P. et al. (a cura di), Ryan's RETINA, ELSEVIER, 2018, pag.327

Un aspetto chiave da considerare per il progetto illuminotecnico riguarda la visione e i diversi compiti visivi che caratterizzano gli utenti che transitano nella carreggiata.

L'**automobilista**, essendo impegnato nel compito della guida, ha una **visione più costante** e focalizzata sulla direzione di marcia. La sua percezione visiva si suddivide in due campi distinti: il campo visivo principale, che corrisponde alla carreggiata, e i campi secondari, che comprendono marciapiedi, alberature e fronti degli edifici. Per il conducente, poiché si sposta ad una velocità elevata, è fondamentale individuare con prontezza le persone, gli ostacoli e la segnaletica presenti sulla carreggiata e secondariamente la sua attenzione può spostarsi verso le aree circostanti.⁶⁶

Per quanto riguarda il **pedone**, il suo movimento è privo di vincoli, caratterizzato da pause e andatura variabile. La visione del pedone può essere definita **panoramica e comunicazionale** poiché si rivolge a

66 Forcolini G., Illuminazione di esterni, HOEPLI, Milano, 1993, pag. 314

62 Narboni R., Luce e paesaggi. Creare paesaggi notturni, Palladino P. (a cura di), Tecniche nuove, Milano, 2006, pag. 41-42

63 Narboni R., Luce e paesaggi. Creare paesaggi notturni, Palladino P. (a cura di), Tecniche nuove, Milano, 2006, pag. 41-42

una varietà di elementi che lo circondano in direzioni che non possono essere predeterminate.

Inoltre, la differenza nella modalità di visione tra conducente e pedone si riflette anche nella loro capacità di adattarsi alle variazioni di luminanza. Il pedone, grazie al suo movimento lento e discontinuo, si adegua **più velocemente** a differenti condizioni di luce, ciò non avviene nel caso dell'automobilista a causa della velocità elevata in cui si muove e che quindi necessita di condizioni di luminosità più omogenee per rispondere prontamente in caso di pericolo.⁶⁷

Nonostante all'interno dei testi scientifici e dei manuali le caratteristiche della visione del ciclista non vengano approfondite, questa tipologia di utenti può essere considerata **intermedia** tra gli automobilisti e i pedoni: come il pedone è particolarmente vulnerabile, ma si sposta a velocità maggiori; come l'automobilista ha necessità di mantenere un'attenzione costante sulla carreggiata, pur dovendo anche osservare le aree circostanti, come marciapiedi e gli spazi pedonali.

Queste caratteristiche richiedono un'attenzione progettuale mirata, in modo che il sistema di illuminazione possa rispondere, non solo a requisiti tecnici e normativi, ma anche alle necessità pratiche degli utenti, i loro compiti visivi e le loro esigenze per permettere lo svolgimento delle attività nelle ore notturne in sicurezza.

2.3.3 Parametri di controllo

Un sistema di illuminazione, oltre a rispettare le linee guida di progettazione e le caratteristiche geometriche indicate nei manuali di riferimento, deve necessariamente conformarsi secondo i limiti stabiliti dalle normative nazionali. I progettisti, quindi, hanno a disposizione i parametri normativi e grandezze fotometriche come strumenti per sviluppare soluzioni funzionali e in grado di rispondere efficacemente alle esigenze degli utenti.

Per spostarsi in sicurezza e garantire adeguata visibilità, i fattori principali da analizzare sono:

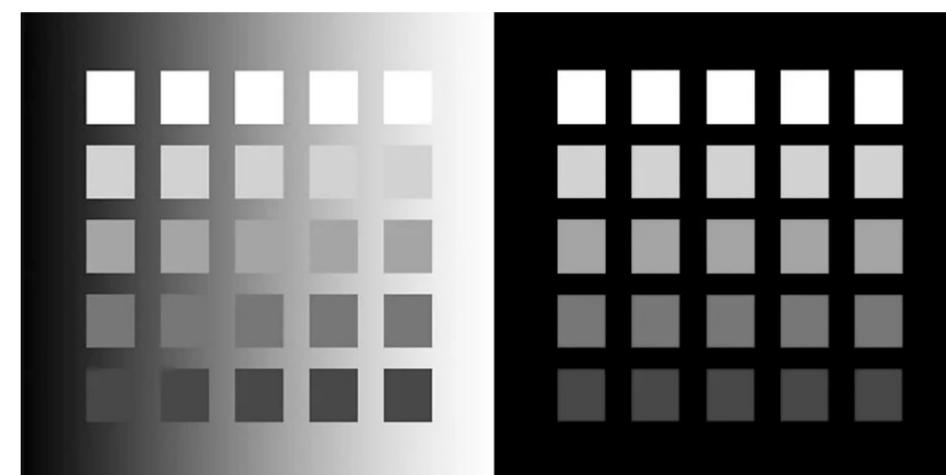
- Contrasto delle luminanze: è importante valutare la luminanza della pavimentazione per assicurare una visione chiara degli spazi.
- Illuminamento: sia l'illuminamento orizzontale medio e minimo, sia quello verticale devono essere analizzati e calibrati per creare un ambiente ben illuminato in tutte le direzioni.
- Abbagliamento: occorre minimizzare il fenomeno dell'abbagliamento per migliorare il comfort visivo e ridurre il rischio di distrazioni o fastidi agli utenti.

Per distinguere gli oggetti in modo efficace è fondamentale regolare la quantità di luce diretta verso la pavimentazione e le superfici mantenendo un adeguato **contrasto delle luminanze**.

Il contrasto delle luminanze è definito dalla formula:

$$C = \frac{L_o - L_a}{L_a}$$

L_a [cd/m²] rappresenta la luminanza di adattamento dell'occhio, che si assume pari a quella dello sfondo o del piano di calpestio nella direzione principale di osservazione, e L_o [cd/m²] indica la luminanza dell'oggetto.⁶⁸ Il contrasto è positivo $C > 0$ quando la luminanza dell'oggetto è maggiore di quella dello sfondo, facendo apparire l'oggetto chiaro su un fondo scuro. Il contrasto è negativo $C < 0$ quando la luminanza dell'oggetto è inferiore a quella dello sfondo, facendo apparire l'oggetto scuro su un fondo chiaro.



68 Forcolini G., Illuminazione di esterni, HOEPLI, Milano, 1993, pag. 316

Fig. 10
La tabella di Bartleson-Breneman dimostra come varia la percezione dei colori e dei quadrati in base al colore dello sfondo, da <https://blog.simes.it/it/contrasti-di-luminanza-rapporto-oggetto-sfondo>

Per garantire un contrasto adeguato tra sfondo e oggetti, è necessaria un'uniformità della luminanza sia trasversale (lungo una retta perpendicolare all'asse stradale) sia longitudinale (lungo una retta parallela all'asse stradale).⁶⁹

Dal punto di vista del comfort visivo, è importante limitare la disuniformità longitudinale della luminanza per evitare che il continuo alternarsi di aree chiare e scure lungo il percorso causi fastidio o affaticamento visivo.

Un altro parametro che influenza la percezione dei contrasti e la visione è l'**illuminamento**.

L'illuminamento è una grandezza oggettiva, indipendente dalla posizione dell'osservatore, che misura la quantità di flusso luminoso incidente su una superficie.

Questa grandezza assume particolare rilevanza nel caso delle piste

69 Frascarolo M., Manuale di progettazione. Illuminotecnica., Mancosu Editore, Roma, 2010, pag. 84

67 Forcolini G., Illuminazione di esterni, HOEPLI, Milano, 1993, pag. 315-316

ciclabili, dove è indispensabile rispettare specifici valori di illuminamento orizzontale medio mantenuto e illuminamento orizzontale minimo mantenuto, al fine di garantire visibilità, sicurezza e comfort per tutti gli utenti.

L'illuminamento orizzontale si riferisce alla quantità di luce che raggiunge la superficie stradale e si distribuisce lungo l'area interessata. È descritto da due parametri fondamentali:

-Illuminamento orizzontale medio mantenuto: rappresenta il valore medio dell'illuminamento calcolato o misurato su una serie di punti distribuiti lungo una griglia predefinita sulla superficie stradale. Questo parametro è essenziale per assicurare che la luce percepita sia sufficiente e distribuita in maniera uniforme.

-Illuminamento orizzontale minimo mantenuto: identifica il valore più basso di illuminamento rilevato o calcolato nei centri dei punti di misura definiti dalla griglia.

Infine, nella progettazione di un impianto di illuminazione, è essenziale regolare le emissioni luminose provenienti da ciascun centro luminoso nelle direzioni di osservazione che generano **abbagliamento** compromettendo le capacità visive degli utenti.

Il fenomeno dell'abbagliamento può essere suddiviso in due categorie principali. L'abbagliamento fisiologico, chiamato anche disability glare, provoca una riduzione della capacità di percezione visiva riducendo la capacità dell'occhio di distinguere chiaramente i dettagli.

L'abbagliamento psicologico, o discomfort glare, è legato all'elaborazione delle informazioni visive e genera all'utente una sensazione di disagio e affaticamento. A differenza dell'abbagliamento fisiologico non causa un calo diretto della visibilità ma influisce sulla percezione soggettiva e sul comfort visivo.

Per quantificare l'abbagliamento fisiologico si utilizza il parametro denominato TI (Incremento di Soglia), che quantifica l'entità del contrasto necessario tra la luminanza di un oggetto e quella dello sfondo o della carreggiata affinché l'oggetto sia percepibile.

Un'illuminazione progettata con attenzione a questi aspetti contribuisce non solo a migliorare la sicurezza e la funzionalità dell'impianto, ma anche a favorire il comfort visivo degli utenti, riducendo al minimo i rischi associati all'abbagliamento.

2.4 L'illuminazione per le piste ciclabili: analisi della letteratura scientifica

Le ricerche sui temi dell'illuminazione elettrica e il ciclismo evidenziano l'impatto positivo dei sistemi di illuminazione sull'uso delle infrastrutture. L'illuminazione ben progettata favorisce l'utilizzo delle piste ciclabili e stimola un maggiore coinvolgimento da parte dei ciclisti, contribuendo così alla promozione del ciclismo come modalità di trasporto sicura e sostenibile.

Uno studio condotto attraverso un sondaggio su 49 ciclisti pendolari a São Carlos, in Brasile, ha esplorato la percezione degli utenti rispetto ai fattori che influenzano la scelta dei percorsi.⁷⁰ Tra i 18 fattori analizzati, gli intervistati hanno identificato il volume e le caratteristiche del traffico e la presenza di buone condizioni di illuminazione come elementi sui quali gli utenti si concentrano maggiormente per la scelta della pista che dovranno percorrere. La presenza di un impianto di illuminazione ben progettato emerge come il **fattore determinante** nella scelta di una pista ciclabile, superando in importanza anche le caratteristiche della pista e la sua posizione rispetto alla carreggiata. Le preferenze espresse dagli utenti forniscono delle indicazioni utili per il miglioramento della qualità delle infrastrutture ciclabili. Inoltre, i risultati del questionario, suggeriscono che gli investimenti rivolti all'illuminazione stradale potrebbero rappresentare degli interventi efficaci e convenienti per incentivare il ciclismo rendendolo più accessibile.

Essendo l'illuminazione artificiale un tema di grande importanza e strettamente correlato all'utilizzo delle piste ciclabili, è fondamentale considerare gli effetti che essa ha sugli utenti delle piste. Gli effetti principali dell'illuminazione artificiale possono essere sintetizzati in tre ambiti:

- Accessibilità e numero dei ciclisti;
- Sicurezza percepita;
- Effetti sulle capacità visive.

2.4.1 Impatto dell'oscurità sul numero dei ciclisti

La presenza di un sistema di illuminazione rappresenta un fattore chiave per **incentivare l'uso della bicicletta** anche nelle ore dopo il tramonto. Questo tema è al centro di un dibattito che esplora in che modo l'illuminazione possa mitigare gli effetti negativi dell'oscurità sui tassi di utilizzo della bicicletta. Numerosi studi hanno evidenziato che l'oscurità rappresenta un ostacolo significativo per la scelta di modalità di trasporto attive, come la bicicletta, poiché riduce il senso di sicurezza personale e la percezione nei confronti degli altri utenti della strada.

70 Pereira Segadilha A. B., da Penha Sanches S., Identification of factors that influence cyclists' route choice, Procedia - Social and Behavioral Science, ELSEVIER, 2014

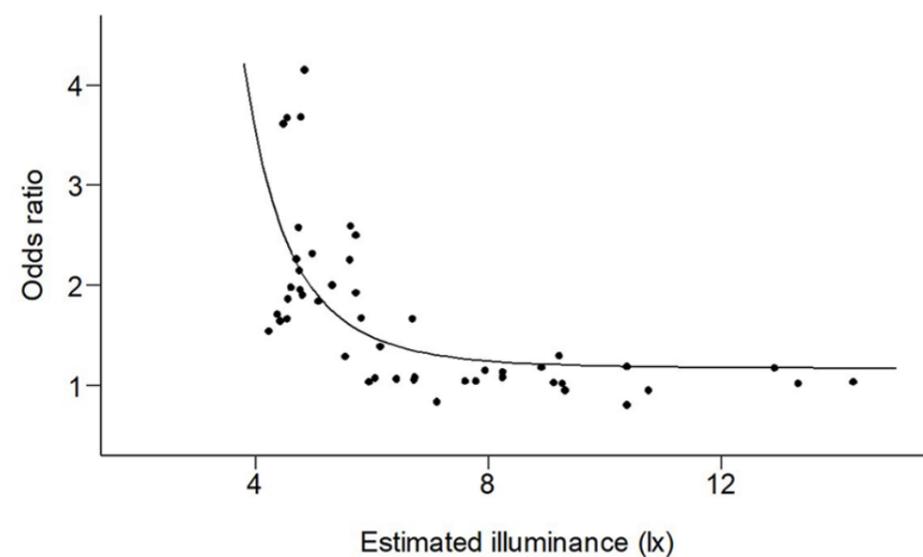
Tuttavia, la presenza di un sistema di illuminazione stradale efficace è in grado di compensare l'impatto negativo dell'oscurità, favorendo un maggiore utilizzo della bicicletta nelle ore notturne. Il comportamento degli utenti, però, varia in base al luogo, al contesto culturale e in relazione ad un parametro fondamentale: l'illuminamento orizzontale.

Nonostante i paesi del nord Europa siano esposti a temperature più rigide e condizioni meteorologiche spesso avverse, l'effetto dell'oscurità sul numero di ciclisti è minore, ad esempio in Norvegia, si verifica una riduzione relativa dei ciclisti del 5% mentre in Inghilterra del 46%.

Una possibile spiegazione di questa differenza è correlata alla cultura del ciclismo nei diversi paesi. In Norvegia, circa il 70% degli spostamenti in bicicletta è legato al tragitto casa-lavoro. Questa abitudine, combinata con il numero elevato di ore di buio durante l'inverno, porta molte persone ad utilizzare la bicicletta come mezzo di trasporto abituale anche in condizioni di scarsa luminosità. Inoltre, trovandosi ad una latitudine molto elevata, la Norvegia sperimenta periodi più lunghi di oscurità in inverno, ciò contribuisce ad una maggiore adattabilità dei ciclisti norvegesi.

Infine, i frequenti spostamenti in condizioni meteorologiche più severe, come neve, ghiaccio e basse temperature, rendono i ciclisti norvegesi più abituati agli spostamenti in queste condizioni, compresa l'oscurità.⁷¹

Un esperimento svolto nella città di Birmingham ha dimostrato una chiara relazione fra l'illuminamento e la riduzione dei tassi di ciclabilità dopo il tramonto.⁷² I dati relativi al livello di illuminamento di tratti di piste ciclabili ricavati dalle immagini aeree notturne sono stati confrontati con il numero di ciclisti.



Dal grafico di evidenza una relazione di non linearità tra la luminosità relativa in una località di notte e la presenza dei ciclisti dopo il tramonto. L'aumento iniziale del livello di illuminamento ha comportato una

riduzione nella differenza tra il numero di persone che si sposta in bicicletta durante il giorno e la notte. Questo effetto si è stabilizzato con all'aumentare dell'illuminamento, indicando la presenza di un livello di illuminamento ottimale, circa 6 lx, oltre il quale non si ottengono ulteriori benefici.⁷³ Questi risultati suggeriscono che anche una **quantità minima** di illuminazione può essere utile per incoraggiare le persone ad utilizzare la bicicletta dopo il tramonto.

La conoscenza legata alla presenza di questo limite può fornire uno strumento utile per i progettisti e la progettazione di sistemi di illuminazione efficienti dal punto di vista energetico e ambientale, infatti, evitando livelli di illuminamento eccessivi, si limita l'inquinamento luminoso.

2.4.2 Percezione di sicurezza

Il tema della sensazione di sicurezza per i ciclisti e i pedoni è legato alla possibilità di distinguere gli oggetti, le persone e irregolarità del terreno lungo il percorso, oltre alla capacità di evitare incidenti.

Durante la notte, questa percezione diminuisce ulteriormente a causa della visibilità ridotta che rende complesso individuare gli ostacoli lungo il percorso. In questo contesto, la presenza di un sistema di illuminazione ben progettato contribuisce alla creazione di un **ambiente più sicuro** per tutti gli utenti della strada. Anche in questo caso due parametri illuminotecnici sono ritenuti fondamentali per assicurare l'uso dei percorsi ciclabili nelle ore notturne: l'illuminamento orizzontale sulla carreggiata e la temperatura di colore.

Solitamente ad un maggiore livello di illuminamento orizzontale è associata l'idea di maggiore sicurezza ma l'utilizzo di fonti luminose più potenti necessitano una maggiore quantità di energia generando maggiori consumi. Per questo motivo, è essenziale progettare un sistema di illuminazione che offra una luce non solo più intensa ma meglio **distribuita e uniforme**.

Per le classi P2 e P3 della norma UNI EN 13201-2 riferite alle classi illuminotecniche nelle strade per pedoni e ciclisti, uno studio condotto da Fotios S. ha evidenziato come la sensazione di sicurezza sia garantita da un valore di illuminamento orizzontale medio compreso tra 7-9 lx, un minimo di 2 lx e un'uniformità di circa 0.25.⁷⁴

Per quanto riguarda la temperatura di colore, la luce blu è associata a una maggiore percezione di sicurezza grazie alla sua capacità di migliorare il riconoscimento facciale e la resa cromatica, influenzando positivamente le prestazioni visive.⁷⁵

L'illuminazione stradale è molto importante per promuovere l'attività

73 Uttley J., Fotios S., Robbins C. J., Moscoso C., The effect of changes in light level on the numbers of cyclists, Lighting Research & Technology, 2023, pag. 374

71 Uttley J., Fotios S., Robbins C. J., Moscoso C., The effect of changes in light level on the numbers of cyclists, Lighting Research & Technology, 2023, pag. 372

72 Uttley J., Fotios S., Lovelace R., Road lighting density and brightness linked with increased cycling rates after-dark, PLoS One, 2020

Fig. 11
Variazione del numero di ciclisti in base al livello di illuminamento da Uttley J., Fotios S., Robbins C. J., Moscoso C., The effect of changes in light level on the numbers of cyclists, Lighting Research & Technology, 2023, pag. 372

74 Fotios S., Monteiro AL, Uttley J. Evaluation of pedestrian reassurance gained by higher illuminances in residential streets using the day-dark approach, Lighting Research & Technology, 2019, pag. 571

75 Peña-García A., Hurtado A., Aguilar-Luzón M. C., Impact of public lighting on pedestrians' perception of safety and well-being, Safety Science, ELSEVIER, 2015, pag. 146

ciclistica durante la notte e migliorare l'esperienza di pedalare al buio, aumentando i livelli di ciclabilità e rendendo l'uso della bicicletta più sicuro.

2.4.3 Effetti sulle capacità visive

Un impianto di illuminazione non progettato correttamente può causare abbagliamento e interferire con le capacità visive degli utenti con conseguenze negative sulla visibilità, la sicurezza stradale e aumentando il rischio di incidenti.

Una delle principali cause di abbagliamento è rappresentata dall'orientamento diretto delle sorgenti luminose verso il ciclista e il suo campo visivo. Un'altra fonte di abbagliamento per i ciclisti è rappresentata dai fari dei veicoli che emettono un fascio di luce in grado di interferire con la visione di chi percorre le strade su due ruote. Questa situazione è particolarmente problematica in aree urbane con traffico intenso a causa dell'interazione ravvicinata tra diversi tipi di utenti della strada.

Gli effetti dell'abbagliamento sono molteplici e possono compromettere seriamente la sicurezza dei ciclisti. In primo luogo, l'abbagliamento riduce la **percezione degli ostacoli**, rendendo difficile individuare pericoli come buche, detriti e altri ostacoli presenti sulla carreggiata. Inoltre, l'esposizione prolungata a luci intense può causare un senso di **disorientamento e affaticamento visivo**, riducendo la concentrazione e i tempi di reazione.⁷⁶ Questo problema è aggravato dal senso di insicurezza che i ciclisti possono provare in queste situazioni, portandoli a rallentare o a evitare determinati percorsi durante le ore notturne.

Per affrontare questo problema è possibile adottare una serie di interventi mirati. Per prima cosa, i lampioni dovrebbero essere dotati di schermature che dirigano la luce verso il basso, minimizzando la dispersione verso il cielo o verso gli occhi degli utenti della strada. Infine, l'impiego di tecnologie avanzate, come i sistemi di illuminazione adattiva, possono ulteriormente migliorare la situazione attraverso la regolazione automatica dell'intensità luminosa in base alle condizioni ambientali e al traffico presente.

76 Villa C., Bremond R., Saint-Jacques E., Assessment of pedestrian discomfort glare from urban LED lighting, Lighting Research & Technology, 2016, pag. 148

2.5 Applicazioni progettuali

Il tema dell'illuminazione per le piste ciclabili può essere trattato anche dal punto di vista progettuale attraverso la presentazione di esempi che evidenziano le strategie e una serie di buone pratiche applicate a progetti realizzati.

I progetti presentati in seguito riguardano delle piste ciclabili oggetto di riqualificazione in cui il sistema di illuminazione ha contribuito a valorizzare il percorso garantendone l'utilizzo, la sicurezza e la visibilità nelle ore notturne, senza trascurare l'aspetto della salvaguardia e della sostenibilità ambientale.

Questi progetti presentano delle particolarità dal punto di vista della tipologia di pista, che può trovarsi in sede propria, in una carreggiata completamente dedicata ai percorsi ciclabili o in una corsia riservata, e dalla presenza di sistemi di illuminazione innovativi.

Progetto_1

Pista ciclabile di Lezíria

Luogo: Castro Marim, Portogallo

Anno: 2020

Progetto illuminotecnico: Schröder

Modello: IZYLUM



Fonte immagini: <https://it.schreder.com/it/progetti/grid-solar-lighting-protects-nature-castro-marim>

La città Castro Marim, in Portogallo, all'interno del piano di decarbonizzazione ha deciso di favorire la mobilità sostenibile attraverso la realizzazione di un sistema di piste ciclabili e pedonali di 3 km di lunghezza per collegare Castro Marim a Vila Real de Santo António, attraversando la riserva Naturale della Palude di Castro Marim-Vila Real de Santo António.

La particolarità che caratterizza questo progetto è legata al sistema di illuminazione che viene realizzato appositamente per la pista ciclabile ed è alimentato esclusivamente ad energia solare grazie agli apparecchi GIRA SOL di Schröder.

La soluzione di illuminazione solare GIRA SOL consiste in un palo alto 4 metri con un pannello fotovoltaico e un apparecchio IZYLUM che limita le dispersioni verso l'alto per la salvaguardia della riserva.

In totale sono stati installati 113 apparecchi di illuminazione ad energia solare off-grid. Questa soluzione ha permesso il risparmio 14,472 kWh di energia e 6,367 tonnellate di emissioni di CO₂ all'anno¹ rispetto ad una soluzione di illuminazione analoga collegata alla rete, contribuendo in modo significativo agli obiettivi di sostenibilità di Castro Marim e riducendo il suo impatto ambientale.

¹ <https://it.schreder.com/it/progetti/grid-solar-lighting-protects-nature-castro-marim>



Progetto_2

Riqualificazione di Rua da Pêga

Luogo: Aveiro, Portogallo

Anno: 2021

Committente: Comune di Aveiro

Progetto illuminotecnico: Schröder

Modello: YOA

Rua de Pêga è una delle strade più antiche di Aveiro, città del Portogallo, che si estende lungomare e costeggia il campus universitario.

Nel 2021 è stata oggetto di riqualificazione con l'obiettivo di ricavare dalla carreggiata dei percorsi dedicati per i ciclisti e i pedoni e garantirne una maggiore sicurezza durante gli spostamenti verso l'università. Il progetto ha previsto anche la realizzazione di una soluzione di illuminazione che potesse garantire l'utilizzo dei percorsi sia di giorno che di notte, a basso consumo energetico e con un focus specifico sul controllo dell'abbagliamento.

È stato previsto un sistema di illuminazione delicato per la pista ciclabile, con l'utilizzo di apparecchi YOA di Schröder posizionati a 4 m da terra, e uno dedicato per la carreggiata stradale, dove gli stessi apparecchi sono montati su braccio a 8 m da terra.

Gli apparecchi a LED sono dotati di una luce bianca calda per garantire un elevato livello di comfort e una buona resa cromatica.



Fonte immagini: <https://it.schreder.com/it/progetti/gli-apparecchi-yoa-garantiscono-percorso-sicuro-una-strada-con-molteplici-utenti>

Progetto_3

Pista ciclabile a Münster

Luogo: Münster, Germania

Anno: 2023

Progetto illuminotecnico: Twilight

Modello: CitySense Plus



Fonte immagini: <https://twilight.com/it/caso-di-studio/illuminazione-adattiva-migliora-esperienza-ciclistica-a-Munster/>

All'interno della città di Münster, in Germania, la mobilità ciclistica assume un ruolo di rilievo per gli spostamenti.

Con l'obiettivo di favorire gli spostamenti giornalieri e supportare il cicloturismo è stata realizzata la passeggiata Kanal, una pista di 27 km lungo il canale Dortmund- Ems che collega Send, un parco divertimenti, a Greven a est della città. La pista in precedenza presentava una pavimentazione in ghiaia ed era priva di un sistema di illuminazione risultando poco sicura.

In seguito alla riqualificazione è stato previsto per il percorso ciclabile un sistema di illuminazione intelligente per poter rispondere alle esigenze degli utenti salvaguardando la fauna locale. Gli apparecchi a LED sono dotati di sensori di movimento che regolano automaticamente la quantità di luce emessa favorendo i risparmi energetici.

Grazie alla progettazione di un sistema di illuminazione adeguato i ciclisti e i pedoni hanno dichiarato di aver provato un maggiore senso di sicurezza e comfort durante l'utilizzo del percorso, che in seguito alla riqualificazione ha registrato l'aumento del 30% del numero di ciclisti.²



² <https://twilight.com/it/caso-di-studio/illuminazione-adattiva-migliora-esperienza-ciclistica-a-Munster/>

Progetto_4

Nallibaana Route

Luogo: Oulu, Finlandia

Anno: 2024

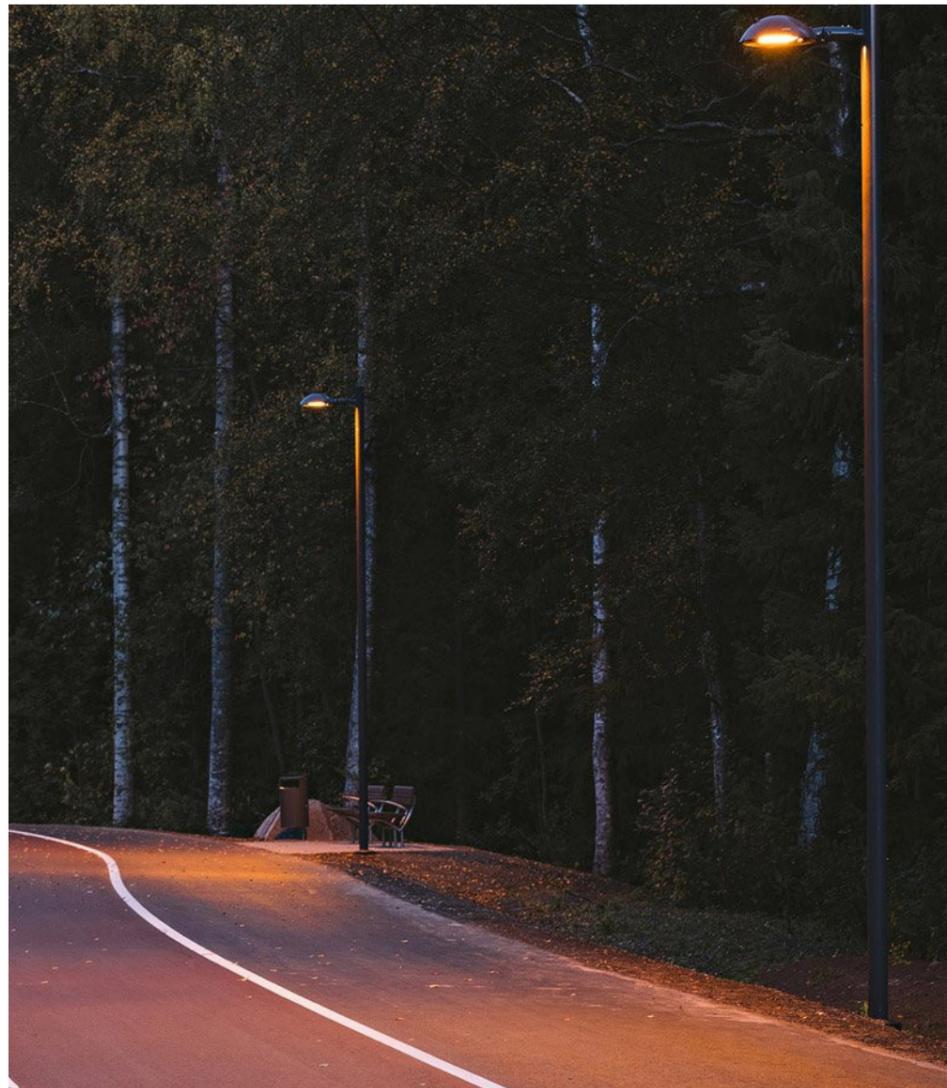
Progetto illuminotecnico: Cariboni group

Modello: Volta Lato Palo

In seguito al progetto di trasformazione della strada Nallibaana Route in Finlandia, il percorso veicolare è stato dedicato interamente ai pedoni e i ciclisti.

Il progetto è iniziato ad Aprile del 2024 quando la città di Oulu ha avviato la riqualificazione completa della strada che attualmente necessita ancora di un rinnovamento della segnaletica e della pavimentazione stradale.

Il progetto illuminotecnico è stato realizzato da Cariboni che ha previsto l'inserimento di apparecchi di modello Volta con una tecnologia Switchable White che permette di variare di temperatura di colore da una luce molto calda a 1800 K, da mezzanotte al mattino, ideale per la salvaguardia dell'ecosistema forestale all'interno del quale la pista è inserita, ad una luce con moderato contenuto di blu a 3000 K, fino a mezzanotte, per migliorare le prestazioni visive degli utenti.



Fonte immagini: <https://www.caribonigroup.com/it/progetti/nallibaana-route-oulu-finlandia>



Progetto_5

Percorsi verso Driebergen-Zeist

Luogo: Driebergen, Paesi Bassi

Anno: 2017-2020

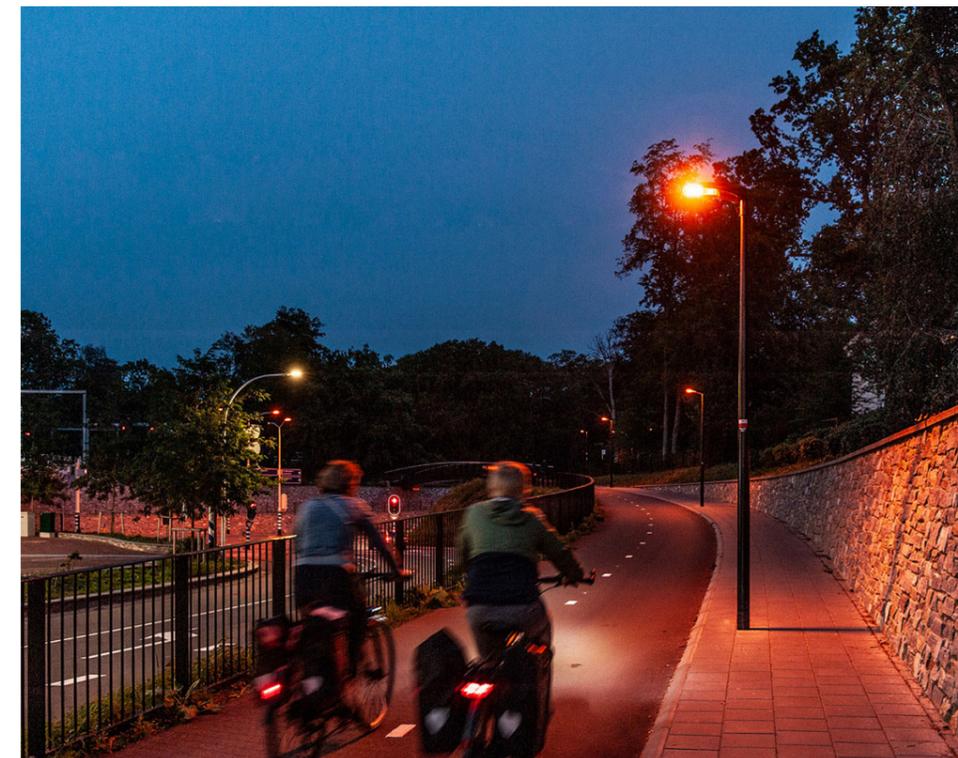
Committente: ProRail, Ministero olandese delle infrastrutture e dell'ambiente, Provincia di Utrecht, Municipalità di Utrechtse Heuvelrug e Zeist

Progetto illuminotecnico: Schréder

Modello: TECEO

Tra il 2017 e il 2020 la stazione di Driebergen-Zeist è stata ristrutturata implementando i servizi dedicati alla mobilità ciclistica come i parcheggi sotterranei per le biciclette, e ampliando la capacità della stazione gli autobus per incoraggiare le persone ad utilizzare i mezzi pubblici. All'interno di questo progetto ha svolto un ruolo principale la riqualificazione del sistema di illuminazione dedicato per i percorsi ciclabili e pedonali con l'obiettivo di garantire maggiore sicurezza per gli utenti che attraverso i percorsi si dirigono alla stazione. In questo modo si favorisce l'utilizzo di più mezzi di trasporto e si sostiene la mobilità sostenibile.

I due obiettivi principali sono, quindi, connettere degli spazi e garantire sicurezza limitando l'abbagliamento e le dispersioni luminose. Gli apparecchi utilizzati, del modello TECEO di Schréder, illuminano i percorsi con LED di colore ambrato e bianco caldo che allo stesso tempo salvaguardano la fauna circostante e garantisce comfort visivo.



Fonte immagini: <https://it.schreder.com/it/progetti/illuminazione-sostenibile-garantisce-sicurezza-persone-e-natura-driebergen-zeist>

3. Gli impatti dell'illuminazione sull'ambiente e sugli ecosistemi

Illuminazione per le piste ciclabili svolge un ruolo fondamentale per garantire la sicurezza e la fruizione dell'infrastruttura da parte dell'utente, tuttavia, l'uso inadeguato della luce elettrica può avere impatti significativi sugli ecosistemi circostanti. L'inquinamento luminoso, le sue ripercussioni sui cicli naturali di flora e fauna, e la loro comprensione per il conseguente sviluppo di soluzioni sostenibili rappresentano temi di grande interesse per la comunità scientifica. Per questi motivi, è importante approfondire tali aspetti a partire da un'analisi della letteratura scientifica.

3.1 Inquinamento luminoso

Le nostre attività, sia di svago che di lavoro, si estendono ben oltre l'orario del tramonto e per il loro svolgimento è garantito dalla presenza della luce elettrica.

L'introduzione di questo elemento ha rivoluzionato la nostra società e il nostro modo di vivere, tuttavia, alterazione dei cicli naturali di buio e luce, ha generato molteplici effetti negativi sugli ecosistemi, sugli esseri viventi e l'uomo. Questo fenomeno prende il nome di inquinamento luminoso e viene definito come "the sum total of all of the adverse effects of artificial light"⁷⁷ ed è causato da una progettazione inadeguata che non rispetta le esigenze degli utenti e non considera le implicazioni ambientali di tali sistemi.

L'inquinamento luminoso può essere causato da un eccessivo illuminamento, dalla direzionalità del flusso non rivolto sulla strada o sulle zone da illuminare, dall'uso di lunghezze d'onda o temperature di colore inadatte. In base a queste modalità errate di progettazione l'inquinamento luminoso si declina in diverse tipologie.

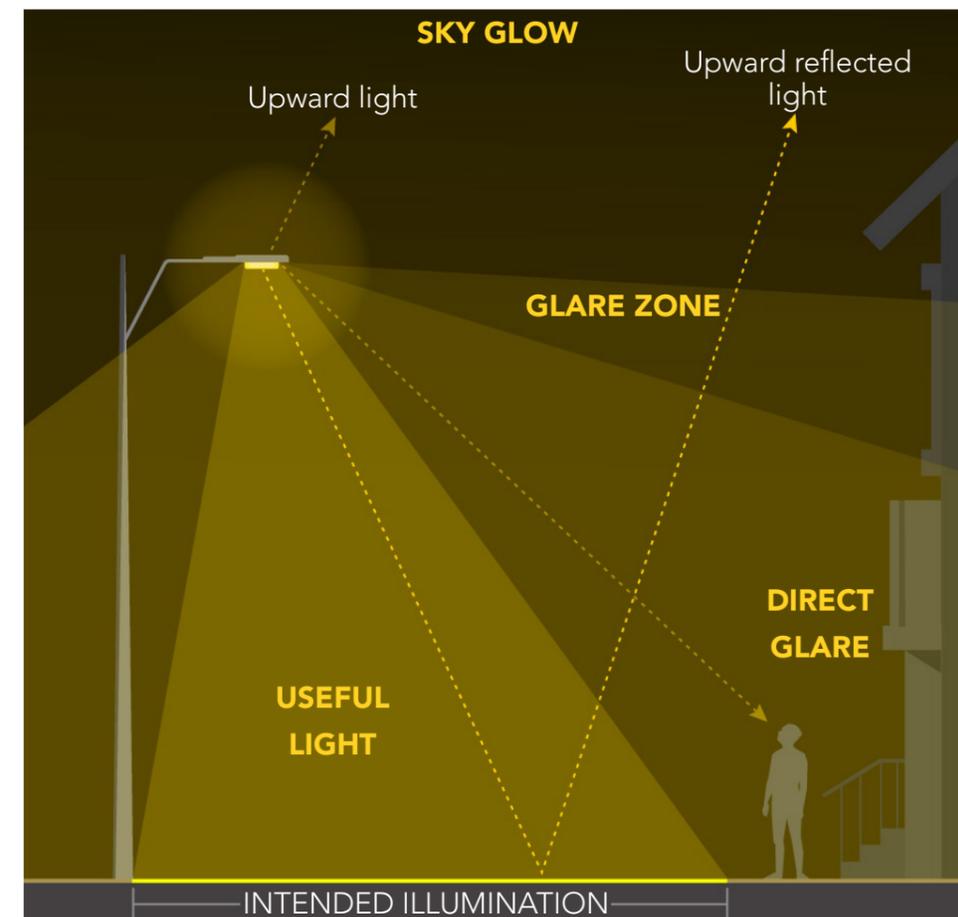
La tipologia di inquinamento luminoso più diffusa è chiamata **Skyglow**. Questa tipologia di inquinamento luminoso fa riferimento al bagliore del cielo percepito di notte e dovuto alle eccessive fonti luminose direzionate verso l'alto o riflesse dalle superfici e disperse nell'atmosfera. La principale problematica legato allo Skyglow consiste nella sua **estensione**, infatti i suoi effetti si estendono per chilometri dalle fonti di luce e non si ripercuote solo nelle città ma anche nelle aree naturali e protette a chilometri di distanza. Questo schermo di luce che ci

avvolge costituisce un ostacolo anche per gli astronomi poiché l'elevata luminosità del cielo impedisce loro di osservare le stelle.

Con il termine **Clutter** si fa riferimento a raggruppamenti di fonti luminose eccessive concentrate in un'unica zona limitata che possono causare confusione e incidenti. Un esempio di questa tipologia di inquinamento luminoso è rappresentato dagli incroci, dall'illuminazione stradale mal progettata o insegne pubblicitarie luminose intense.⁷⁸

Anche il fenomeno dell'**abbagliamento** viene considerato una declinazione dell'inquinamento luminoso ed è causato da un eccessivo illuminamento che, riducendo il contrasto tra gli oggetti e l'ambiente in cui sono inseriti, compromette le capacità visive dell'occhio umano risultando particolarmente pericoloso per ciclisti e automobilisti.

Le ultimi due tipologie di inquinamento luminoso **light trespass** e **over-illumination** fanno riferimento alla dispersione della luce oltre i confini in cui è strettamente necessaria e all'uso eccessivo della luce. In questo caso, oltre alle ripercussioni sull'ambiente e la sensazione di discomfort percepita, questi fenomeni sono responsabili di uno spreco energetico.⁷⁹



3.1.1 Effetti sulla fauna

Nella progettazione dei sistemi di illuminazione per le piste ciclabili è comune l'adozione di un approccio Human Centric, volto a garantire il benessere e le esigenze dei ciclisti durante gli spostamenti notturni. Tuttavia, quando i percorsi ciclabili sono inseriti in un contesto naturale

78 Rajkhowa R., Light Pollution and Impact of Light Pollution, International Journal of Science and Research, 2014, pag. 863

79 Rajkhowa R., Light Pollution and Impact of Light Pollution, International Journal of Science and Research, 2014, pag. 862

Fig. 1 Schema relativo alla distribuzione luminosa e inquinamento luminoso, <https://www.astronomyleeds.org.uk/alan/whatis.html>

77 Jägerbrand A. K., Spoelstra K., Effects of anthropogenic light on species and ecosystems, Science, 2023, pag. 1

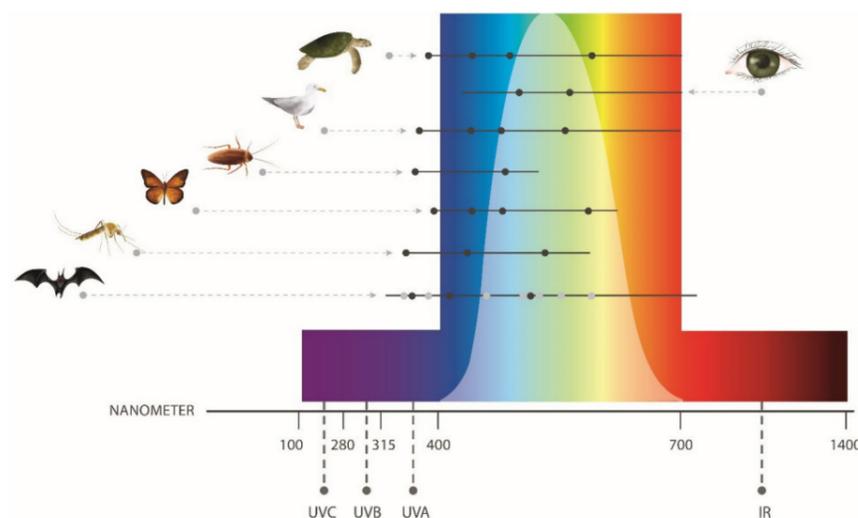
o all'interno di un parco, è centrale il tema della salvaguardia degli ecosistemi, della flora e della fauna. La luce elettrica può rappresentare un elemento di disturbo per la vita e la crescita di animali e piante, per questi motivi è necessario progettare un'illuminazione che soddisfi le esigenze di tutti gli utenti rispettando, allo stesso tempo, l'ambiente naturale circostante.

Un parametro che genera effetti negativi e modifica il comportamento delle specie animali è la **lunghezza d'onda**.

Gli animali hanno sensibilità visive differenti in base alla lunghezza d'onda e la maggior parte delle specie presenta dei picchi di sensibilità che rendono particolarmente nociva la **componente blu dello spettro** luminoso mentre, come è possibile notare dalla fig.2, in corrispondenza della luce rossa non sono presenti picchi ciò significa che questa ha un impatto ridotto sulle attività degli esseri viventi e sulle loro capacità visive.

Oltre ad essere percepita come nociva dagli esseri viventi, la luce blu, se non opportunamente schermata, aumenta l'abbagliamento compromettendo la visione notturna umana. Per questi motivi, nell'ambito della progettazione sostenibile dei sistemi di illuminazione dei percorsi ciclabili sono stati introdotti apparecchi che sfruttano l'uso della luce rossa. Nonostante la luce rossa preservi le capacità visive dell'uomo anche in condizioni di scarsa illuminazione un aspetto negativo evidenziato dall'utilizzo della luce rossa è il basso indice di resa cromatica che viene associato, in alcuni contesti, a un fattore di scarsa sicurezza.⁸⁰

Le potenzialità della luce rossa sono ancora in parte sconosciute e questo ambito necessita di ulteriori studi e sperimentazioni per dimostrare la sua efficacia nei contesti naturali e urbani.



Le conseguenze negative sugli esseri viventi sono causate da uno stimolo luminoso notturno che si declina, oltre alla componente spettrale, in

componenti temporali e spaziali.

Questi effetti si differenziano per animali e piante in base ai modi in cui la luce viene sfruttata, come risorsa o fonte di informazione.



Fig.3 Influenza della luce risorsa e fonte di informazione sul comportamento degli animali e lo sviluppo delle piante, elaborazione personale

Nel primo caso l'equilibrio tra periodi di luce e ombra fornisce agli esseri viventi un **segnale** per l'inizio dei processi naturali come la fotosintesi clorofilliana, il fototropismo, ovvero la crescita della pianta verso una fonte luminosa, e la ripartizione dell'attività tra il giorno e la notte.

La luce viene anche percepita dai fotorecettori nelle piante e dai recettori degli esseri viventi per determinare alcune **informazioni** riguardo all'ambiente naturale che li circonda tra cui la loro posizione, il momento della giornata e dell'anno, la regolazione dell'orologio circadiano e il fotoperiodismo.⁸¹ La luce viene utilizzata come informazione anche per **orientarsi** nello spazio. Gli effetti più significativi vengono riscontrati nel caso di alcune specie di uccelli che migrano la notte, in questo caso la presenza di forti fonti luminose li disturba e disorienta allontanandoli dalle rotte migratorie.⁸² Un ulteriore effetto della luce sugli organismi viventi è la **fototassi**, lo spostamento verso una fonte luminosa o la sua repulsione. Gli insetti sono tra gli organismi più sensibili a questo processo e risultano particolarmente attratti da lunghezze d'onda più basse mentre non sono sensibili alla luce rossa.⁸³ La tendenza di questi organismi di concentrarsi attorno ad una fonte luminosa li rende vulnerabili nei confronti dei predatori.

Oltre a questi effetti diretti sul comportamento animale la luce influenza i processi che garantiscono la **sopravvivenza** delle specie come la riproduzione e l'approvvigionamento di cibo.

Una delle specie che risente maggiormente della presenza della luce elettrica nel momento del foraggiamento sono i pipistrelli.

La loro vulnerabilità è legata al modo in cui si orientano e sopravvivono all'interno del loro habitat, poiché i pipistrelli sfruttano gli elementi ai margini dei percorsi come siepi, corsi d'acqua e i limiti delle foreste per nutrirsi e spostarsi. Per questi motivi la presenza della luce elettrica

80 Durmus D., Jägerbrand A. K., Tengelin M. N., Research note: Red light to mitigate light pollution: Is it possible to balance functionality and ecological impact?, Lighting Res. Technol, 2024, pag. 306

Fig. 2 Relazione tra la lunghezza d'onda e la sensibilità visiva degli animali e dell'uomo. I picchi di sensibilità vengono individuati con i punti neri, da National Light Pollution Guidelines for Wildlife including Marine Turtles, Seabirds and Migratory Shorebirds, Commonwealth of Australia, 2020

81 Gaston K. J., Bennie J., Davies T. W., Hopkins J., The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal, Biological Reviews, 2013, pag. 917,919

82 Kataro J.M. et al., A review of the effect of artificial light at night in urban areas on the ecosystem level and the remedial measures, Front. Public Health, 2022, pag. 4

83 Durmus D., Jägerbrand A. K., Tengelin M. N., Research note: Red light to mitigate light pollution: Is it possible to balance functionality and ecological impact?, Lighting Res. Technol, 2024, pag. 305

84 Jägerbrand A. K., Spoelstra K., Effects of anthropogenic light on species and ecosystems, Science, 2023, pag. 2

lungo gli assi utilizzati dai pipistrelli per raggiungere i nidi e procurarsi il cibo ne compromette la sopravvivenza.⁸⁴

Nonostante la maggior parte delle specie di pipistrelli siano attive di notte la loro risposta alla luce elettrica è differente. Un esperimento svolto in Germania⁸⁵ ha studiato come i pipistrelli reagiscono all'illuminazione regolata da sensori di movimento lungo una pista ciclabile per verificare se questa tecnologia possa contribuire a ridurre gli effetti negativi della luce artificiale sulle specie animali.

I risultati delle analisi hanno dimostrato come tutte le specie di pipistrello rispondano negativamente all'illuminazione a LED attivata dal movimento, in particolare durante la prima metà della notte perché questo è il periodo di foraggiamento dei pipistrelli e in questo intervallo la pista viene utilizzata maggiormente, ma, a differenza dei pipistrelli che si nutrono in spazi aperti e si spostano con maggiore agilità e che sfruttano la capacità delle fonti luminose di attrarre gli insetti, i pipistrelli che si nutrono in spazi marginali hanno riscontrato maggiori effetti negativi nelle attività di foraggiamento. In questo caso i pipistrelli sono rimasti in zone protette evitando l'illuminazione a LED e evitando di spostarsi per cacciare nelle ore centrali della notte.

3.1.2 Effetti sulla flora

Con il termine cronofotobiologia⁸⁶ si indica lo studio delle relazioni tra luce, tempo e le piante, il cui obiettivo è l'indagine riguardo gli aspetti della luce elettrica che possono influenzare negativamente le specie vegetali.

Oltre ad essere utilizzata come risorsa per la fotosintesi, la luce rappresenta la principale fonte di informazioni che influenza il **comportamento fenologico** delle piante, infatti, il rapporto fra i fattori climatici e le tappe dello sviluppo degli elementi vegetali, quali la germinazione, la fioritura, la maturazione dei frutti, la caduta o la crescita delle foglie, hanno alla base uno stimolo luminoso. Le piante, durante la loro evoluzione, si sono adattate alle condizioni luminose dell'ambiente, rispondendo al naturale susseguirsi delle stagioni e ai cicli di luce e buio che si alternano nell'arco di 24 ore.⁸⁷ La luce, quindi, agisce come uno dei **segnali ambientali** più importanti, regolando il comportamento della pianta in via di sviluppo e influenzando la tempistica di eventi cruciali come la crescita, la fioritura e la riproduzione. Per attivare questi processi, le piante ricevono fino a 100.000 lux in una giornata di sole, mentre di notte, al chiaro di luna, ricevono da 0.01 a 1 lux. (fig.4) Nonostante le piante siano abituate a ricevere molta luce, la sempre più diffusa presenza di

85 Heim O., Chavez F., Courtiol A., Paul F., Voigt C. C., Guild-specific response of bats to motion-triggered LED lighting of bicycle trails, Conservation Science and Practice, 2023

86 Narboni R., Luce e paesaggi. Creare paesaggi notturni, Palladino P. (a cura di), Tecniche nuove, Milano 2006, pag 34

87 Bennie J. et al., Ecological effects of artificial light at night on wild plants, British Ecological Society, 2016, pag. 614

fonti di illuminazione artificiale modifica in modo significativo il quadro luminoso al quale le piante si sono adattate, alterando i loro cicli naturali e provocando effetti nocivi per il loro sviluppo.

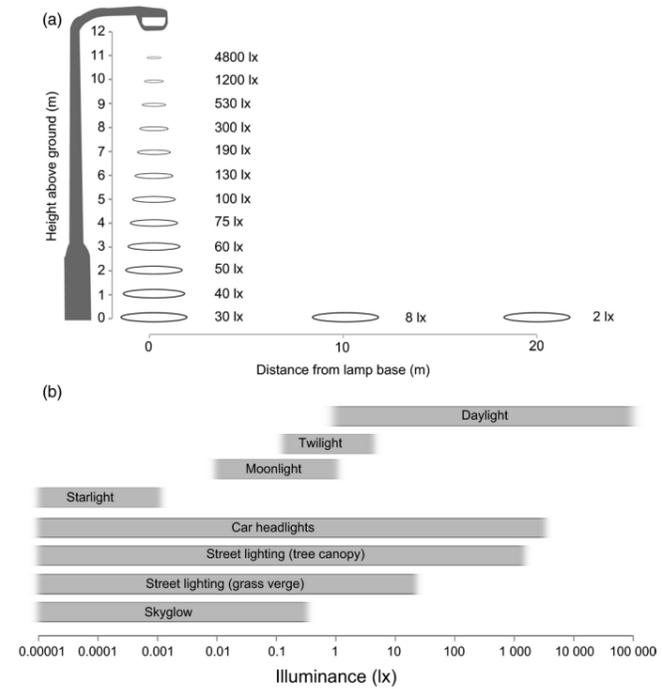


Fig. 4 Confronto tra livelli di illuminamento di fonti naturali e artificiali, da Bennie J. et al., Ecological effects of artificial light at night on wild plants, British Ecological Society

Le piante elaborano le informazioni dell'ambiente esterno, l'intensità e la qualità della luce, attraverso dei **foto-recettori**: i fitocromi, i criptocromi, le fototropine e gli UVR8. Ogni fotorecettore regola diversi aspetti del funzionamento della pianta ed è stimolato da lunghezze d'onda specifiche.

I fitocromi assorbono lunghezze d'onda comprese tra i 600-750 nm, che corrispondono a una luce rossa e rossa-lontana. I fitocromi regolano l'inizio di alcuni processi come la fioritura, la caduta di foglie e dei frutti e il germogliamento.

I criptocromi e le fototropine agiscono come recettori della luce viola e blu per lunghezze d'onda comprese tra i 390-500 nm. Questi due recettori, **particolarmente sensibili alla luce blu**, sono fondamentali per la **normale crescita** degli organismi vegetali, inoltre i criptocromi regolano l'**orologio circadiano** delle piante e i ritmi giornalieri in base all'alternanza di luce e buio durante la giornata.⁸⁸

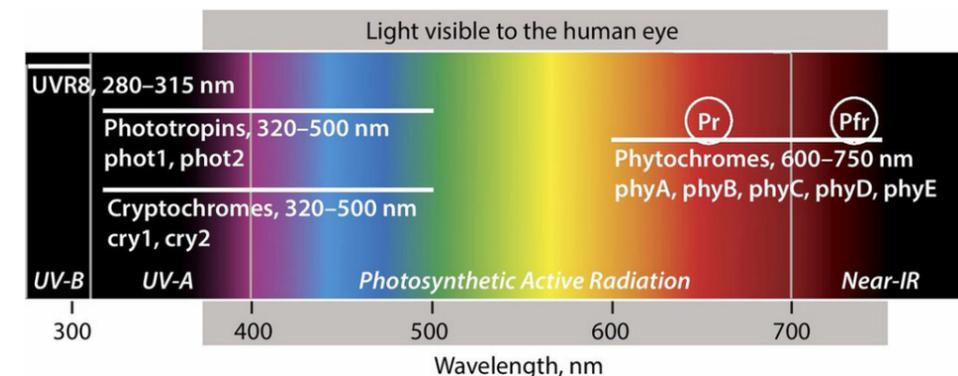


Fig. 5 Lunghezze d'onda rilevate dai fotorecettori delle piante, da Ouzounis T., Rosenqvist E., Ottosen C., Spectral Effects of Artificial Light on Plant Physiology and Secondary Metabolism: A Review, HortScience

Generalmente il processo di fotosintesi si attiva per lunghezze d'onda tra i 400 e i 700 nanometri e per il suo svolgimento ottimale sono necessarie, in quantità adeguate, tutte le lunghezze d'onda che vengono assorbite in modo diverso dalle foglie. La luce blu e rossa viene assorbita solo sulla superficie, mentre la luce verde è la reale responsabile del processo di fotosintesi che giunge negli strati più profondi della foglia.

Un altro fenomeno che risente della presenza di particolari lunghezze d'onda è la **fioritura**, la luce blu è responsabile della fioritura precoce dei germogli di alcune tipologie arboree. I motivi di questo fenomeno devono essere nuovamente ricercati nella relazione tra le lunghezze d'onda e i recettori, poiché è possibile che i recettori, stimolati dalla luce blu, mandino delle informazioni alla pianta relative a condizioni primaverili favorevoli anticipate che la pianta cerchi di sfruttare anticipando il processo di fioritura.⁸⁹

Attualmente è molto diffuso l'utilizzo di apparecchi LED caratterizzati dalla presenza di una forte componente di luce blu per assicurare i requisiti di comfort e visibilità nelle ore notturne da parte degli utenti, ma a questa regione dello spettro sono molto sensibili i criptocromi e le fototropine.

Poiché la maggior parte dei recettori, che regola processi fondamentali per lo sviluppo della pianta, è sensibile alla componente blu della luce, un'esposizione eccessiva a queste lunghezze d'onda può avere effetti molto nocivi. È quindi essenziale limitare queste lunghezze d'onda in momenti in cui alle piante non sono necessarie, come durante la notte, e conoscere lo spettro di un apparecchio illuminotecnico per poter limitare le conseguenze negative sulle specie vegetali.

La luce elettrica influenza anche le **relazioni tra flora e fauna** compromettendo il funzionamento degli ecosistemi. Alcuni impollinatori notturni, come le falene, sfruttano i colori per orientarsi, cercare cibo e riprodursi, e sono sensibili a lunghezze d'onda del blu e del verde. La luce elettrica altera le condizioni di luce notturne modificando la percezione visiva delle falene che non sono in grado di distinguere fiori e foglie, di conseguenza in ambienti in cui l'inquinamento luminoso è eccessivo si verifica meno impollinazione.⁹⁰ Influenzando il comportamento degli impollinatori notturni, in modo indiretto, la luce elettrica compromette anche il processo riproduttivo delle piante.

Oltre ai livelli di illuminamento, alla lunghezza d'onda, alla direzione e alla durata dell'esposizione, ciò che reca danno alle piante è l'**energia termica** emanata dall'apparecchio.

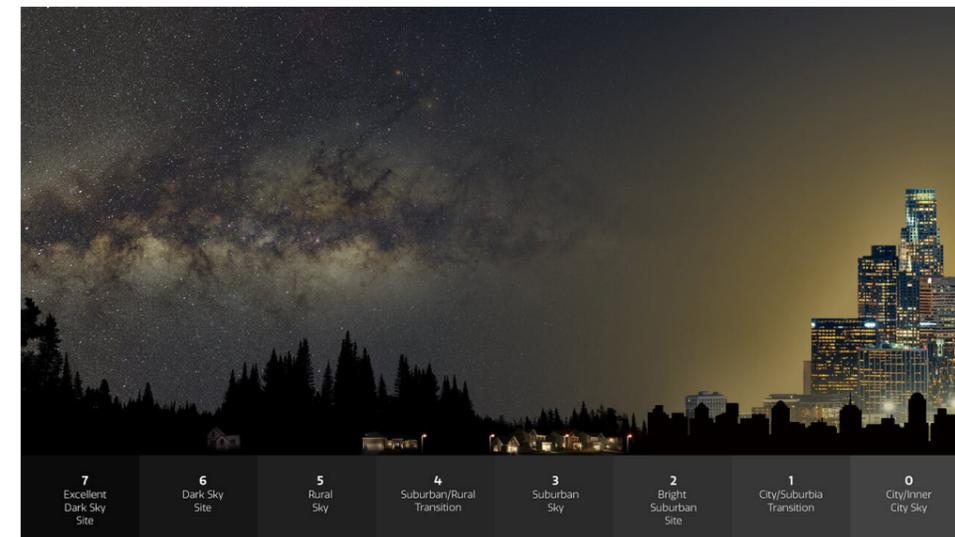
Il periodo di caduta delle foglie è compreso solitamente tra settembre e dicembre, ma la presenza di una fonte luminosa che emana calore,

creando un microclima dalla temperatura più mite, prolunga questo intervallo e le foglie rimangono verdi più a lungo in prossimità delle lampade.⁹¹ Ne risulta che per non bruciare o danneggiare le foglie è necessario posizionare le sorgenti luminose ad una distanza adeguata.

3.1.3 Visibilità del cielo notturno

A seguito di un blackout, nel 1994 i cittadini di Los Angeles osservano per la prima volta la Via Lattea descrivendola come "a mysterious silvery cloud"⁹², la possibilità di osservare la nostra galassia e le stelle così naturale per gli antichi oggi risulta molto complesso.

Uno degli effetti negativi dovuti all'inquinamento luminoso, che preoccupa scienziati e associazioni ambientaliste, è proprio legato all'**eccessivo bagliore del cielo** che riduce il contrasto tra le stelle e il cielo stesso, provoca la **perdita di contatto visivo diretto** e aumenta la complessità nell'osservazione degli astri e dei pianeti.



91 Narboni R., Luce e paesaggi. Creare paesaggi notturni, Palladino P. (a cura di), Tecniche nuove, Milano, 2006 pag. 34; Massetti L., Assessing the impact of street lighting on Platanus x acerifolia phenology, Urban Forestry & Urban Greening, 2018, pag. 71-72

92 Shrimplin V., Dark Skies and Light Pollution: An Art-Historical Approach, ResearchGate, 2023, Pag. 119

Fig. 6 Impatto dell'inquinamento luminoso sulla visibilità del cielo notturno da <https://noirlab.edu/public/news/noirlab2302/>

A partire dagli anni '90, attraverso nuove politiche di ripristino dell'illuminazione dei beni culturali, alcuni astronomi hanno denunciato l'inutile incremento del flusso luminoso diretto verso il cielo richiedendo un maggiore controllo dell'inquinamento luminoso causato dall'illuminazione pubblica e privata.⁹³

Gli stati si sono mobilitati per definire delle azioni che limitino gli effetti negativi dell'inquinamento luminoso sulla flora, la fauna e la visibilità del cielo notturno. La Dark Sky Association promuove a livello mondiale questi obiettivi, condivisi anche in Italia dall'associazione CieloBuio.

A partire dal 2001 più di 200 siti in tutto il mondo sono stati riconosciuti come "Dark Sky Places", parchi, riserve naturali e comunità che rispettano i principi di un'illuminazione consapevole evitando l'ulteriore deterioramento di questi luoghi.

93 Narboni R., Luce e paesaggi. Creare paesaggi notturni, Palladino P. (a cura di), Tecniche nuove, Milano, 2006 pag. 116

89 Brelsford C. C., Robson T. M., Blue light advances bud burst in branches of three deciduous tree species under short-day conditions, SpringerLink, 2018, pag. 1161-1162

90 Vissio, C., Drewniak, E.M., Cocucci, A.A. et al., Artificial light changes visual perception by pollinators in a hawkmoth-plant interaction system, SpringerLink, 2024

Nel maggio del 2023 è stato designato il primo parco internazionale del cielo buio in Grecia, il parco nazionale di Aenos. Per l'ottenimento di questo riconoscimento sono state intraprese delle azioni di retrofit tra cui la selezione di nuove lampade a LED con schermatura cut-off in modo da bloccare completamente il flusso indesiderato verso l'alto e una temperatura di colore correlata di 2000 K.⁹⁴

L'introduzione di questo parco tra l'elenco delle aree Dark Sky rappresenta un importante esempio per promuovere la protezione del cielo buio e diffondere la consapevolezza e l'importanza di queste aree spingendo altri stati a perseguire uno stesso obiettivo.

L'inquinamento luminoso della volta celeste è un fenomeno complesso, influenzato da una combinazione di fattori ambientali e caratteristiche delle sorgenti luminose. Ad esempio, il livello di **inquinamento atmosferico** amplifica il fenomeno luminoso poiché le particelle nell'aria, come polveri, aerosol e altre sostanze inquinanti, riflettono la luce.

Le condizioni atmosferiche, come la copertura nuvolosa o un cielo sereno, l'altitudine e le caratteristiche del suolo incidono ulteriormente sull'intensità del fenomeno.

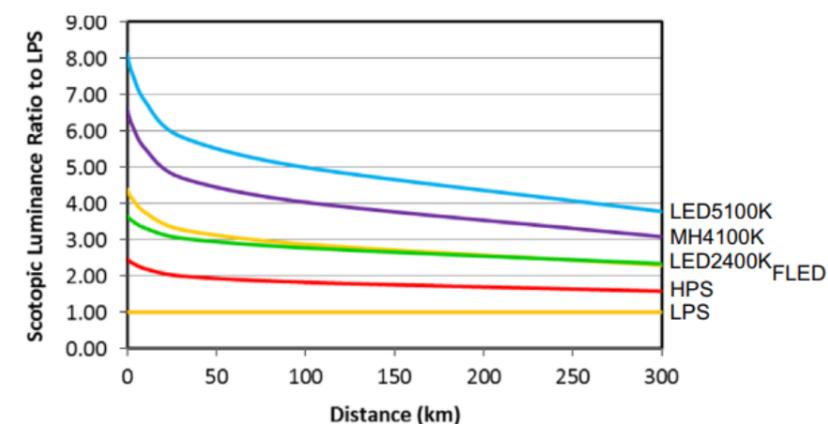
Una particolarità che caratterizza l'inquinamento luminoso è la sua **capacità di estendersi** ben oltre le aree in cui si trovano le fonti di luce. L'effetto cumulativo di numerose sorgenti luminose non si limita agli spazi immediatamente circostanti ma si propaga centinaia di chilometri, influenzando contesti distanti. L'inquinamento luminoso della volta celeste, oltre ad essere amplificato dalle condizioni climatiche e ambientali, è legato alle sorgenti luminose e ai loro parametri illuminotecnici, come l'intensità luminosa, lo spettro, la temperatura di colore e la direzionalità.

Diversi studi⁹⁵ si concentrano in particolare sull'**impatto della lunghezza d'onda** sul bagliore del cielo. Il calcolo dell'indice Starlight Contamination Degree (SCD) permette di valutare, per ogni sorgente del campione in analisi, l'impatto sulla visibilità del cielo notturno. In questo caso viene considerato il flusso riflesso verso il terreno emanato da sorgenti a LED caratterizzate da temperature di colore correlate comprese tra 1000K e 10,000K, includendo nel calcolo i coefficienti di riflessione del terreno. I risultati dell'esperimento mostrano che lampade a LED con tonalità tendenti al **rosso-ambrato**, caratterizzate da CCT<2700K e CRI<60, **compromettono meno** la visione notturna e influiscono meno sull'inquinamento luminoso, e per questi motivi sono più adatte per essere utilizzate in contesti naturali protetti o nelle vicinanze di osservatori astronomici.⁹⁶

L'impatto negativo sulla visibilità del cielo notturno è stato dimostrato

anche in relazione alla **distanza dall'apparecchio**.

In particolare, è stato osservato come i livelli di luminanza scotopica variano in funzione della distanza dalla sorgente, confrontando apparecchi caratterizzati da lunghezze d'onda e temperature di colore correlate diverse.



Dall'analisi della figura 7 emerge che le sorgenti luminose con una componente di **luce blu più elevata** (LED 5100K) producono una **luminosità visiva molto alta**, nello specifico, una luminosità fino a 8 volte superiore rispetto agli apparecchi al sodio a bassa pressione (LPS). Inoltre l'effetto negativo sulla luminosità del cielo notturno **persiste** anche a **lunghe distanze**, nel caso in esame fino a 300km, evidenziando come la luce, in particolare la luce blu, contribuisca in maniera significativa all'inquinamento luminoso anche in aree geografiche molto lontane dal punto di emissione. Nonostante nel caso delle sorgenti a luce blu la luminosità diminuisca drasticamente all'aumentare della distanza a causa delle lunghezze d'onda più corte, livelli così alti di illuminamento iniziale provocano un impatto negativo sulla visibilità del cielo notturno.⁹⁷

“Un cielo notturno incontaminato che permetta il godimento e la contemplazione del firmamento dovrebbe essere considerato **un diritto inalienabile** dell'umanità equivalente a tutti gli altri diritti ambientali, sociali e culturali, a causa del suo impatto sullo sviluppo di tutti i popoli e sulla conservazione della biodiversità.”⁹⁸, con questa affermazione si apre la Dichiarazione di La Palma con la quale si riconosce il cielo notturno come patrimonio dell'umanità.

L'aumento costante dell'uso di apparecchi di illuminazione ha portato alla crescente frammentazione e isolamento delle aree buie da proteggere, interrompendo la continuità dei corridoi ecologici e influenzando negativamente le attività e la crescita di piante e animali. Un altro aspetto da considerare riguardo l'inquinamento luminoso è il suo impatto culturale poiché compromette la possibilità di osservare e studiare il cielo notturno, privando l'umanità di una risorsa inestimabile.

Fig. 7 Rapporto della luminosità scotopica del cielo rispetto a sorgenti LPS, da Luginbuhl C. B., Boley P. A., Davis D. R., The impact of light source spectral power distribution on sky glow

97 Luginbuhl C. B., Boley P. A., Davis D. R., The impact of light source spectral power distribution on sky glow, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2013, pag. 24

98 Declaration in defence of the night sky and the right to starlight, 2007

94 Papalambrou A., Xanthakis M., Doulos L. T., Aenos International Dark-Sky Park: The first officially designated area protected from light pollution in Greece, E3S Web of Conferences, 2023, pag. 2-5

95 Luginbuhl C. B., Boley P. A., Davis D. R., The impact of light source spectral power distribution on sky glow, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2013; Tabaka P., Kołomanski S., Influence of replacing discharge lamps with LED sources in outdoor lighting installations on astronomical observations, BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES TECHNICAL SCIENCES, 2023

96 Tabaka P., Kołomanski S., Influence of replacing discharge lamps with LED sources in outdoor lighting installations on astronomical observations, BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES TECHNICAL SCIENCES, 2023, pag. 9-10

Fin dall'antichità l'osservazione del cielo notturno è stata fondamentale lo sviluppo dell'astronomia, delle scienze, della filosofia, della poesia e delle culture per le civiltà.

La visione delle stelle ha sempre rappresentato una fonte di ispirazione per l'umanità e l'inquinamento luminoso della volta celeste distorce la percezione dello spazio in cui viviamo.

La valutazione degli impatti e l'adozione di misure per ridurre l'inquinamento luminoso risultano complesse a causa dei numerosi fattori coinvolti e alla necessità di garantire un'illuminazione adeguata per le esigenze umane. In base alle conoscenze derivate dalla ricerca è possibile affermare che è necessario limitare le emissioni verso l'alto che provocano l'illuminamento eccessivo della volta celeste, contenere l'intensità luminosa e sfruttare apparecchi con ridotta percentuale di luce blu.

Seguendo i principi di una progettazione **attenta all'ambiente** e consapevole è possibile restituire, anche nelle città, un contatto diretto con il cielo.

3.2 Misure di mitigazione e adattamento

3.2.1 Strategie

« Embrace technology by asking for support from the lighting industry to ensure that night-time biodiversity is sustained, and energy consumption is reduced. Engage with the lighting design industry to deliver an appropriate lighting solution.»⁹⁹, questo è uno dei dieci principi che compongono il Responsible Outdoor Lighting At Night Manifesto (ROLAN) chiarendo l'importanza dello sviluppo tecnologico e di una progettazione sostenibile per la riduzione degli impatti negativi della luce elettrica sugli ecosistemi.

Nonostante il tema dell'illuminazione elettrica non venga preso in considerazione all'interno dei Sustainable Development Goals i suoi effetti si ripercuotono su molti dei principi promossi per lo sviluppo sostenibile nel futuro.



Fig. 8 Sustainable Development Goals

Per questo motivo la progettazione di impianti di illuminazione per esterni dovrebbe essere regolamentata da un'adeguata normativa e da linee guida internazionali a sostegno dei governi, dei decisori locali e dei produttori. A partire dalla letteratura scientifica è possibile estrapolare delle misure di mitigazione e adattamento che possono essere attuate con l'obiettivo di limitare l'inquinamento luminoso. Le misure di mitigazione si basano principalmente sulla regolazione dei parametri illuminotecnici e sulle modalità di illuminazione, e consistono nel mantenere le aree non illuminate o limitare la durata dell'illuminazione, ridurre lo "sconfinamento" dell'illuminazione in aree che non sono destinate ad essere illuminate, controllare i livelli di illuminamento e modificare lo spettro e la temperatura della luce.

Una delle soluzioni più intuitive ed efficienti per eliminare l'inquinamento luminoso consiste nel mantenere le aree **non illuminate**.¹⁰⁰

Questa soluzione risulta applicabile solamente in aree naturalistiche in cui sono presenti specie protette particolarmente sensibili alla luce e che sono attivi la notte e di conseguenza necessitano di un ambiente completamente buio.

L'inquinamento luminoso, attraverso l'applicazione di questa strategia, può essere **ridotta e limitata** ma non eliminato completamente, poiché la riduzione totale e drastica delle emissioni verso la volta celeste comporterebbe il totale oscuramento degli spazi esterni per i quali non sarebbero più garantite le condizioni di visibilità e sicurezza fondamentali per lo svolgimento delle attività umane dopo il tramonto.¹⁰¹

Per quanto riguarda gli ambienti esterni, infatti, come parchi e percorsi pedonali, in cui le attività umane interferiscono con quelle animali, è necessario individuare le tecnologie adatte per limitare gli impatti sugli ecosistemi e gli eccessivi consumi energetici e che, allo stesso tempo, soddisfino i requisiti di sicurezza necessari per l'uomo.

« Adaptive road lighting is a promising solution to reduce ecological effects, but it is most effective for roads with low traffic.»¹⁰² In corrispondenza di strade meno trafficate, percorsi pedonali o ciclabili è possibile, senza spegnere completamente il sistema, programmare gli apparecchi attraverso l'uso di sistemi di **controllo per lo spegnimento** e la **dimmerazione**.

La seconda strategia riguarda, infatti, il **controllo dell'intensità luminosa**, cruciale per la salvaguardia della flora e della fauna sensibili alla luce elettrica, in particolare le specie notturne e crepuscolari, che possono essere negativamente influenzate da un'eccessiva illuminazione.

Per prima cosa è necessario svolgere delle ricerche riguardo le specie

100 Gaston K.J., Davies T.W., Bennie J., Hopkins J., Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments, Journal of applied ecology, 2012, pag. 1258

101 Forcolini G., Lighting. Lampade, apparecchi, impianti. Progettazione per ambienti interni ed esterni, HOEPLI, Milano 2008, pag.307

102 Jägerbrand A.K., Spoelstra K., Effects of anthropogenic light on species and ecosystems, Science, 2023, pag. 4

animali che abitano l'area e i loro ritmi notturni. Di conseguenza, in base al periodo stagionale o notturno, quando si verificano le attività di foraggiamento, riproduzione o migrazione, l'illuminazione può essere temporaneamente spenta o dimmerata in modo da limitare le alterazioni di questi ritmi biologici.

Le moderne tecnologie, grazie all'uso di sensori, consentono ai sistemi di illuminazione di adattarsi alle diverse situazioni, trovando un compromesso tra le esigenze degli ecosistemi e i requisiti umani in termini di sicurezza, comfort e visibilità notturna. I sensori, infatti, rilevando la presenza o meno di pedoni e ciclisti, modificano automaticamente i parametri tecnici per ripristinare le condizioni di illuminazione più adeguate.

Definire le condizioni per un giusto compromesso tra le esigenze umane e la protezione dell'ambiente naturale è complesso. Le ricerche evidenziano che le ore immediatamente successive al crepuscolo e quelle appena prima dell'alba, quando l'illuminazione è necessaria per gli esseri umani, coincidono con il momento in cui molte specie notturne sono maggiormente attive. Questo significa che l'illuminazione artificiale durante questi intervalli temporali ha un impatto significativamente maggiore sugli ecosistemi.¹⁰³

La riduzione dell'intensità luminosa, nonostante non elimini completamente gli effetti negativi sulla fauna, se applicata come strategia permette di ridurre l'inquinamento luminoso e l'abbagliamento migliorando la qualità dell'ambiente notturno.

Un ulteriore beneficio legato alla possibilità di regolare l'intensità luminosa e programmare lo spegnimento degli apparecchi in alcuni momenti della giornata è rappresentato dalla **riduzione del consumo di energia** e un conseguente risparmio economico. A causa della difficoltà nell'identificare i livelli ottimali di intensità luminosa, un approccio più intuitivo suggerisce di mantenere i livelli di illuminazione al di sotto di quelli naturali del chiaro di luna, che variano tra 0.01 a 1 lux.

Per facilitare la traduzione di questo principio in applicazioni reali e fornire strumenti utili ai produttori, in Europa sono nate diverse associazioni che condividono la volontà di proteggere il cielo notturno e gli ecosistemi delle conseguenze della luce elettrica mettendo a disposizione dei produttori nella realizzazione di apparecchi attenti agli impatti sull'ambiente altri tipi di standard relativi alle prestazioni degli apparecchi illuminotecnici.

Un esempio di standard, promosso anche in Italia dall'associazione CieloBuio, sono gli **Standards of Low Impact Lighting**, che riguardo l'intensità luminosa stabiliscono che, nelle ore notturne meno trafficate,

tutti gli apparecchi devono essere dimmerati dal 100% al 10% o almeno al 50% se non vengono utilizzate tecnologie adattive.¹⁰⁴

L'impatto dell'inquinamento luminoso notturno è intensificato da un uso improprio dell'illuminazione, derivato da una progettazione, installazione e manutenzione inadeguate dei sistemi di illuminazione. Questi errori portano alla diffusione di luce in aree che **non necessitano di essere illuminate**, risultando in uno spreco di energia e in un disturbo ambientale. Nel caso dell'illuminazione stradale e dei percorsi ciclabili e pedonali un'adeguata illuminazione deve essere direzionata sulla carreggiata e verso gli oggetti situati al di sotto della sorgente luminosa in modo tale da garantire adeguata sicurezza e visibilità per gli utenti. Tuttavia, una progettazione illuminotecnica scadente può determinare un'emissione di luce in direzioni non funzionali, generando un impatto negativo sull'ambiente circostante. Per mitigare tali effetti, le principali linee guida internazionali affermano che l'Upward Light Output Ratio (ULOR) di un apparecchio di illuminazione deve essere pari allo 0,0%, mentre per quanto riguarda la retro illuminazione e quella frontale presentano dei valori differenti.

La Royal Astronomical Society of Canada (RASC), all'interno del Dark Sky protection programs, raccomanda un massimo di 3000K in combinazione con un'illuminazione ridotta e l'uso di apparecchi sharp cut-off (SCO) e full cut-off (FCO) ai quali è consentito che meno dell'1% del flusso luminoso totale venga disperso nelle zone FVH e BVH, tra 80° e 90° rispetto all'orizzontale.

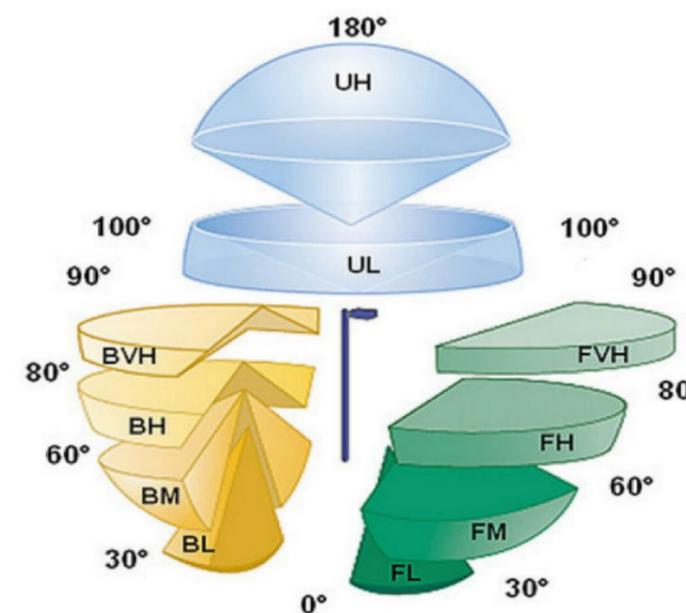


Fig. 9
Dieci zone che influenzano la schermatura e l'abbagliamento di un apparecchio di illuminazione, da RASC Dark-Sky Protection Programs

Il sistema BUG (Backlight, Uplight, and Glare), sviluppato dall'International

103 Gaston K. J., Davies T.W., Bennie J., Hopkins J., Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments, Journal of applied ecology, 2012, pag. 1259

Dark-Sky Association (IDA), prevede requisiti di schermatura più severi e dettagliati per i corpi illuminanti adatti ad essere utilizzati in aree sensibili e protette. Questo sistema prevede dei limiti per il controllo della quantità di luce emessa rispetto ai vari angoli dal corpo illuminante. Facendo riferimento alla fig.10, l'IDA raccomanda per l'illuminazione frontale, nell'area FVH, la dispersione di meno del 2% del flusso e nell'area BWH meno dell'1%. Infine presenta un requisito più stringente riguardo la retroilluminazione cioè la dispersione di meno del 10% del flusso nelle aree BH, BM, BL.

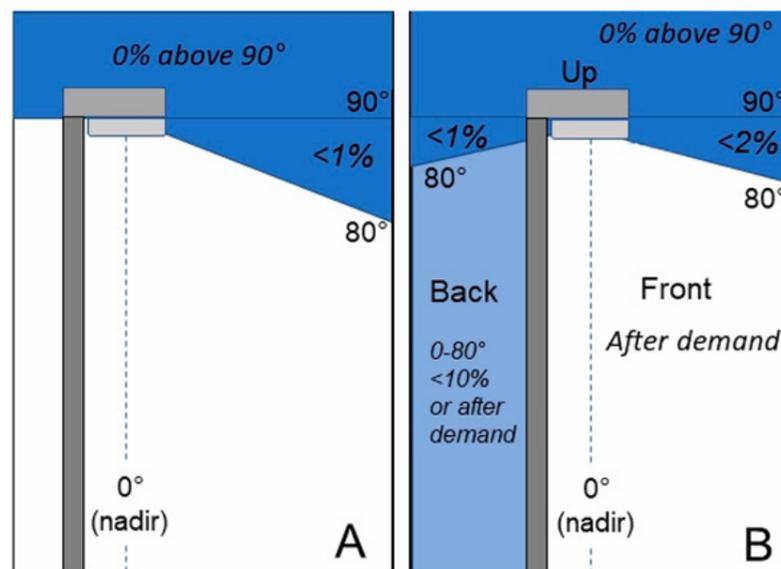


Fig. 10
Confronto tra requisiti RASC e IDA contro le dispersioni della luce verso l'alto, da Jägerbrand A. K., Bouroussis C. A., Ecological Impact of Artificial Light at Night

Le ultime due strategie riguardano la **regolazione dello spettro** e la **temperatura della luce** attraverso l'utilizzo di sistemi di controllo così come accade per l'intensità luminosa. Gli animali e altri organismi viventi rispondono in modo diverso alle varie lunghezze d'onda della luce, di conseguenza l'impatto ecologico delle fonti luminose dipende da come l'energia luminosa è distribuita attraverso queste lunghezze d'onda. In particolare, la luce emessa nelle lunghezze d'onda blu (<500 nm) è responsabile dei principali effetti negativi sui ritmi naturali della fauna e della flora. Per minimizzare questi effetti, si raccomanda l'uso di LED ambrati con un picco a 590 nm, poiché emettono una quantità minima di luce **sotto i 500 nm**. Infatti, come è possibile notare dal grafico in fig.11, la curva che rappresenta lo spettro visibile degli insetti e quello della luce ambrata presentano picchi che non si intersecano, risultando non dannosa, a differenza della curva corrispondente alla luce con percentuale di blu maggiore.

L'impatto della luce elettrica sull'ambiente è un problema complesso e di vasta portata, per il quale non esistono soluzioni semplici o definitive. Nonostante l'uso crescente dell'illuminazione elettrica durante le ore

notturne, attraverso l'uso di apparecchi ecocompatibili che permettono di regolare l'intensità luminosa, la temperatura di colore e che riducono al minimo le dispersioni verso l'alto, o attraverso approcci che combinano queste misure di mitigazione, è possibile contribuire a mitigare significativamente gli effetti negativi dell'illuminazione sugli ecosistemi e preservare la visibilità del cielo notturno.

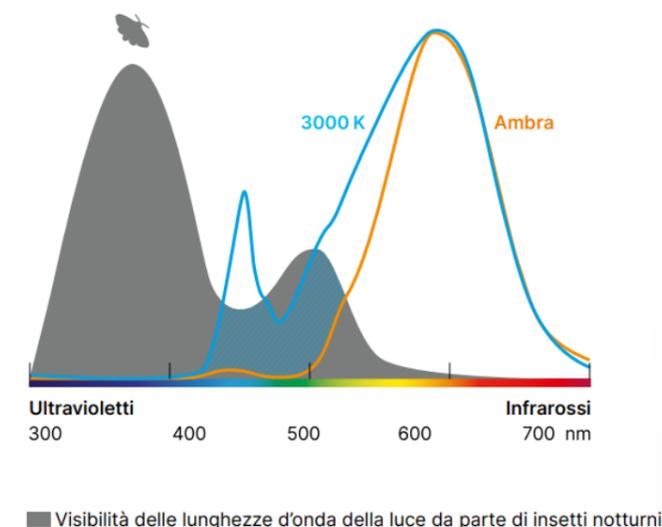


Fig. 11
Confronto tra spettro luminoso percepito dagli insetti e spettri LED con diverse percentuali di luce blu, da <https://www.bega.com/it-it/conoscenze/teoria-dell-illuminazione/illuminazione-esterna-responsabile/bega-bugsaver/>

3.2.2 Prodotti ecocompatibili e certificati

La validità delle linee guida e delle affermazioni teoriche proposte dagli studiosi può essere verificata attraverso l'analisi di nuovi prodotti immessi sul mercato e l'esame delle loro applicazioni in ambito progettuale. Per incentivare il progresso nel settore degli apparecchi illuminotecnici, con l'obiettivo di ridurre al minimo l'abbagliamento e l'inquinamento luminoso, l'organizzazione Dark Sky ha creato un programma di **certificazione**. Questo programma è finalizzato a riconoscere e certificare i prodotti di illuminazione che rispettano una serie di parametri tecnici, individuati per minimizzare l'impatto ambientale dell'illuminazione artificiale. Questi criteri includono, tra gli altri, la limitazione della dispersione della luce verso l'alto, il controllo dell'intensità luminosa, la temperatura di colore e l'uso efficiente dell'energia.

In particolare, per evitare di alterare gli habitat notturni i parametri da seguire sono:¹⁰⁵

- Nessuna tolleranza per l'**uplight**, classificazione BUG U-0;
- Deve essere disponibile un'opzione per la **schermatura** pre o post-installazione;
- Gli apparecchi devono avere una capacità di **dimmerazione** pari all'1%

105 Apply to be DarkSky Approved: <https://darksky.org/what-we-do/darksky-approved/application/>

della potenza nominale;

- Non più del 7% delle emissioni visibili in **380-520 nm**;
- Le sorgenti luminose di tonalità calda da **3000K CCT** e inferiori.

Un aspetto particolarmente importante della certificazione Dark Sky è rappresentato dal ruolo di **guida strategica** per le aziende. Questa certificazione non si limita ad un semplice riconoscimento di conformità a standard tecnici, ma può essere utilizzato come punto di riferimento per orientare le scelte progettuali e di sviluppo delle aziende che mirano a sviluppare prodotti ecocompatibili nel settore dell'illuminazione. Attraverso l'identificazione di un framework di parametri, le imprese propongono sul mercato dei prodotti conformi alle normative ambientali sempre più stringenti e allo stesso tempo rispondono alla crescente domanda dei consumatori e delle comunità locali di soluzioni per l'illuminazione orientate alla sostenibilità al rispetto dell'ambiente.



Fig. 12
Certificazione Dark Sky
<https://darksky.org/what-we-do/darksky-approved/application/>

Un esempio di azienda internazionale sensibile alle tematiche ambientali e leader nello sviluppo di tecnologie all'avanguardia è Schröder.

La maggior parte dei loro prodotti, oltre a possedere la certificazione Dark Sky, sono dotati di un sistema che prende il nome di Schröder EXEDRA. Schröder EXEDRA è una piattaforma per il **controllo remoto** dell'illuminazione stradale che permette di offrire un'illuminazione adattiva che massimizzi il risparmio energetico senza compromettere la sicurezza degli utenti e il benessere degli ecosistemi. Questo strumento, integrato ai sistemi di illuminazione, ha la capacità di **adattare la quantità di luce emessa** o costruire scenari di illuminazione dinamici programmando diversi profili di regolazione in base ai momenti della giornata, salvaguardando la fauna e riducendo gli sprechi energetici.

Ad esempio, gli apparecchi vengono parzialmente dimmerati se non percepiscono il passaggio di pedoni e in alcuni casi negli orari notturni vengono spenti completamente.

Oltre all'intensità, anche la **temperatura della luce** può variare, passando da bianco ad ambrato, riducendo così la percentuale di luce blu emessa.

Grazie ai sistemi automatici gli apparecchi sono programmati per ripristinare la loro conformazione originale, con una maggiore intensità e una luce bianca fredda, nel caso in cui venga rilevato il passaggio di persone per garantire maggiore sicurezza e comfort.

Inoltre, una caratteristica imprescindibile per i prodotti ecocompatibili è la presenza di un sistema di schermatura che impedisce la dispersione del flusso luminoso verso l'alto, concentrando la luce solo dove è necessaria.

I processi caratteristici del "life-centric lighting design"¹⁰⁶ vengono condivisi anche dall'azienda italiana Cariboni, che con il termine "Eco centric lighting" fa riferimento al suo approccio alla progettazione che si concentra sulla tutela della biodiversità e il benessere degli esseri umani.¹⁰⁷

Cariboni propone degli apparecchi Blue Free Light composti da LED caratterizzati da un'**alta efficienza energetica** e da un ampio spettro di colori. Questi apparecchi, consigliati per l'illuminazione di percorsi ciclo pedonali, aree protette e parchi a causa del basso contenuto di componente luminosa blu, generano un ambiente sicuro per le persone e attento al benessere degli ecosistemi. Allo stesso tempo, la presenza limitata di queste lunghezze d'onda ha come conseguenza una riduzione dell'indice di resa cromatica (CRI40), per questo motivo è preferibile non utilizzare questo tipo di apparecchi lungo strade per il traffico veicolare molto trafficate.

Per raggiungere il giusto compromesso tra i requisiti per l'uomo e per l'ambiente i prodotti Dark Friendly sono predisposti per l'integrazione di dispositivi che adattano automaticamente la temperatura di colore e l'intensità in base alle condizioni dell'ambiente rilevato, al momento della giornata o alla stagione. I sistemi ottici **Switchable White** consentono di passare da una luce con un basso contenuto di blu (CCT=1800 K), ideale per proteggere flora e fauna, a una luce calda con un moderato contenuto di blu (CCT=3000 K), che migliora la visibilità umana durante i periodi di traffico intenso.¹⁰⁸

Infine tutti i prodotti Blue Free Light sono dotati di schermature e sistemi di orientamento progettati in modo da ridurre la percentuale di backlight e uplight dispersa (ULOR < 1%).

106 Dugar A. M., Biodynamic Lighting: Establishing Foundational Considerations for 'Life Centric' Lighting, 2023, pag. 3, 7-10

107 Cariboni group, Eco Centric Lighting, 2023, pag.10

108 Cariboni group, Eco Centric Lighting, 2023, pag. 40-41

3.3 Applicazioni progettuali

Terminata la trattazione riguardo le possibili strategie da mettere in atto per limitare l'inquinamento luminoso e ridurre gli effetti della luce elettrica sulla flora e la fauna, è altrettanto interessante analizzare una serie di applicazioni progettuali che mostrano come le conoscenze teoriche, derivate dagli studi scientifici sull'impatto della luce artificiale sugli ecosistemi, possano essere tradotte in soluzioni illuminotecniche efficaci, capaci di bilanciare le esigenze umane con la salvaguardia dell'ambiente naturale.

Le schede seguenti fanno riferimento a progetti illuminotecnici di piste ciclabili e percorsi pedonali inserite all'interno di parchi e aree naturali in Italia e nel resto d'Europa. Questi progetti si distinguono per l'adozione di apparecchi illuminotecnici ecocompatibili, progettati non solo per garantire la sicurezza e la fruibilità degli spazi da parte degli utenti, ma anche per rispettare e preservare gli equilibri delicati degli ecosistemi notturni.

L'approfondimento su questi esempi pratici di illuminazione ecocompatibile all'interno di contesti naturali mette in evidenza delle soluzioni innovative che contribuiscono allo sviluppo verso un futuro più sostenibile.

Progetto_1

Gladsaxe municipality

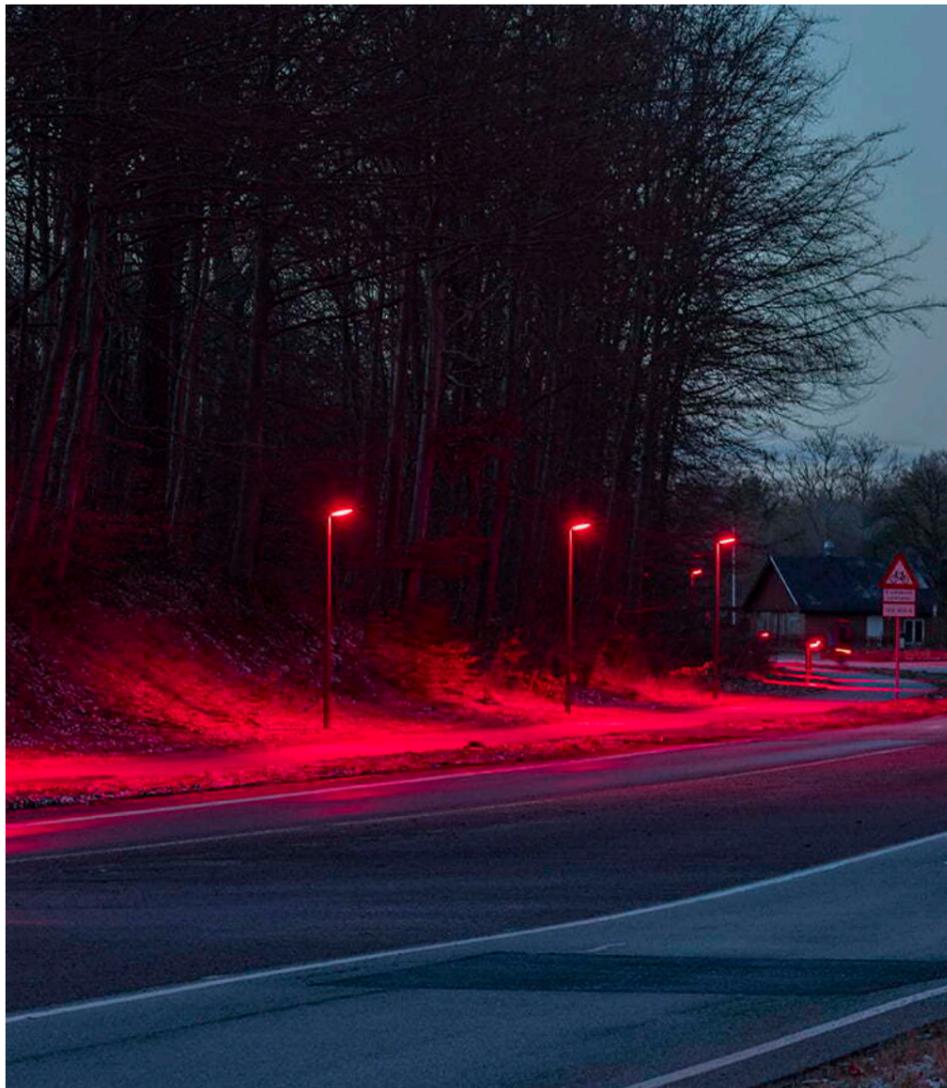
Luogo: Gladsaxe, Danimarca

Anno: 2022

Committente: Gladsaxe Municipality

Progetto illuminotecnico: Light Bureau

Modello: NYX 330 POLE TOP



Fonte immagini: <https://lightbureau.com/projects/gladsaxe-municipality/>

Il progetto per il nuovo sistema di illuminazione di Gladsaxe fa parte di una serie di interventi proposti all'interno del piano per lo sviluppo sostenibile della città con l'obiettivo di migliorare le qualità della vita dei suoi abitanti preservando la biodiversità.

Il progetto è caratterizzato dall'utilizzo di apparecchi che sfruttano la luce rossa, questa scelta rappresenta la volontà di mettere in pratica i risultati delle ricerche scientifiche riguardo che la temperatura della luce ha sulla fauna, e sperimentare con nuovi apparecchi dagli impatti ridotti. I progettisti dello studio Light Bureau hanno collaborato a stretto contatto con i committenti per realizzare una soluzione illuminotecnica ad hoc per il sito. Il principale obiettivo è quello di limitare gli impatti sulle colonie di pipistrelli che popolano le aree boschive danesi garantendo, allo stesso tempo, condizioni ottimali per la sicurezza e lo svolgimento delle attività umane.

In corrispondenza degli attraversamenti per pedoni e ciclisti sono stati disposti 12 pali alti 3.5 metri. Questi tratti stradali sono completamente illuminati e rappresentano gli unici punti in cui i corridoi bui sono interrotti permettendo il passaggio in sicurezza degli utenti. Nel resto della carreggiata sono presenti dei pali di altezza ridotta pari a 1 metro, e distanti 30 m. In questo modo la luce è concentrata soltanto nei punti in cui è strettamente necessaria evitando gli sconfinamenti nelle aree circostanti.



Progetto_2

Mandel bike path

Luogo: Roeselare, Belgio

Anno: 2020

Committente: Città di Roeselare

Progetto illuminotecnico: Schréder

Modello: TECEO S



Fonte immagini: <https://www.schreder.com/en/projects/sustainable-self-supporting-lighting-mandel-bike-path>

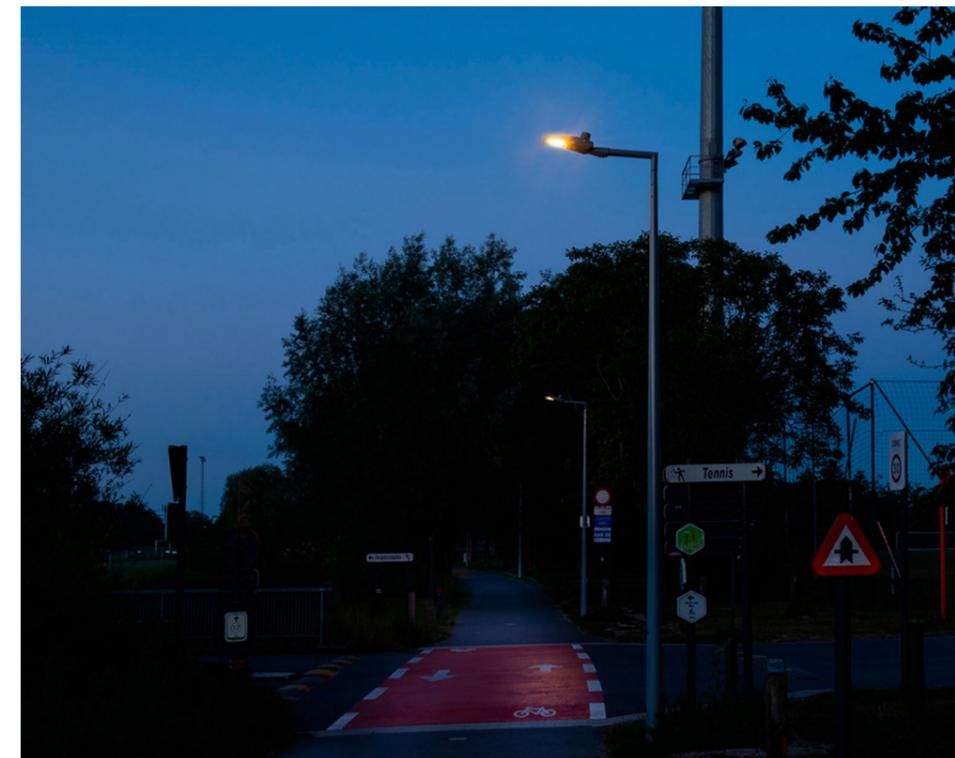
A causa dello stato di deterioramento dell'impianto di illuminazione del percorso ciclopedonale lungo il fiume Mandel, le autorità della città di Roeselare hanno proposto un nuovo sistema a LED alimentato dall'energia solare con l'obiettivo di rendere il sistema sostenibile e autosufficiente.

Lungo il percorso sono stati installati 23 apparecchi dotati di sistema di controllo Schréder EXEDRA e sensori di movimento.

Dal tramonto alle 23.00 e dalle 5.00 all'alba, sfruttando i sistemi di controllo, gli apparecchi vengono dimmerati all'80%. Nel caso in cui vengano rilevati dei ciclisti o pedoni, l'intensità luminosa viene ristabilita al 100% seguendo lo spostamento dell'utente.

Dalle 23.00 alle 5.00 del mattino, l'intensità viene dimmerata al 20% per gli apparecchi all'inizio del percorso, mentre gli altri apparecchi sono spenti e si accendono automaticamente se viene rilevato il passaggio di persone lungo la pista.

La differenziazione dell'intensità luminosa dell'apparecchio in base al momento della giornata rappresenta una particolarità che caratterizza l'impianto e lo rende efficiente dal punto di vista energetico e ambientale.



Progetto_3

Percorsi naturalistici di Pål sjö Skog

Luogo: Helsingborg, Svezia

Anno: 2020

Committente: Comune di Helsingborg

Progetto illuminotecnico: Schröder

Modello: TECEO GEN2



Fonte immagini: <https://ch.schreder.com/it/progetti/bat-friendly-lighting-protects-rare-species-palsjo-skog-forest>
<https://helsingborg.se/trafik-och-stadsplanering/trafik-och-byggprojekt/battre-belysning-i-palsjo-skog/>

La riserva naturale di Pål sjö Skog, situata nella periferia di Helsingborg, riveste particolare importanza a causa della presenza di diverse specie di pipistrelli protetti in via di estinzione.

I sentieri all'interno del parco sono spesso frequentati anche nelle ore notturne, motivo per cui l'impianto di illuminazione è stato pensato rivolgendo particolare attenzione ai temi del risparmio energetico, della sicurezza e della tutela della biodiversità.

Per il sistema di illuminazione dei sentieri all'interno del parco le principali scelte progettuali sono state orientate verso l'utilizzo di apparecchi con temperature di colore differenti e la regolazione dell'intensità luminosa. I nuovi apparecchi distribuiti all'interno del parco sono stati dotati di apparecchi LED a luce bianca calda 3000 K mentre nelle zone in cui sono stati individuati i rifugi dei pipistrelli sono stati posizionati 47 apparecchi LED con la temperatura di colore di 1870 K. Questa strategia deriva dalle ricerche scientifiche che dimostrano come la luce rossa non influenzi le attività notturne delle specie animali negativamente e allo stesso tempo garantisce condizioni di visibilità e sicurezza delle persone. Per salvaguardare ulteriormente queste specie gli apparecchi vengono spenti dalle 23:30 alle 4 del mattino e fino all'alba restano dimmerati del 50%.

All'interno del report datato 2021 di Calluna, società di consulenza ambientale, sono stati riportati i dati relativi alla relazione tra la luce elettrica e la fauna ottenuti da diverse stazioni all'interno di riserve e parchi naturali nel territorio svedese.

Nel caso di Pål sjö Skog la luce artificiale non ha influito sulle attività di foraggiamento e migrazione dei pipistrelli locali.



Progetto_4

Esperimento a Southampton Common

Luogo: Southampton, Inghilterra

Anno: 2019

Partecipanti: Università di Southampton, Bat Conservation Trust, Council Parks, Ecology teams e Southampton Common and Parks Protection Society (SCAPPS).

Progetto illuminotecnico: Signify



L'esperimento svolto all'interno del parco di Southampton, in Inghilterra, è particolarmente interessante poiché ha avuto come obiettivo quello di indagare non solo riguardo agli effetti della luce rossa sugli animali ma anche la sua percezione da parte delle persone.

Per raccogliere i dati sono stati individuati 8 siti, in ognuno di essi sono stati posizionati due apparecchi di illuminazione, distanti 30 metri e alti 3.3 metri ciascuno, e dei sensori per la rilevazione dell'attività dei pipistrelli.

Durante le tre notti in cui si è svolto l'esperimento i siti sono stati illuminati in base a diverse condizioni di illuminazione stradale: completamente al buio, con apparecchi a LED bianchi e apparecchi a LED con spettro rosso.

I risultati dei questionari sottoposti a 91 persone hanno evidenziato un riscontro positivo nei confronti di questa tipologia di illuminazione.

Circa il 70% degli intervistati ha riscontrato da parte degli apparecchi a luce rossa delle prestazioni uguali o superiori agli apparecchi a luce bianca e, in particolare, hanno dichiarato di aver percepito l'ambiente illuminato in modo sicuro. Questo questionario evidenzia come pedoni e ciclisti favoriscano la luce rossa per l'illuminazione dei percorsi poiché sono consapevoli che essa sia "less disruptive to nocturnal wildlife".¹

¹ <http://southamptoncommonforum.org/bats.html>



Fonte immagini: <http://southamptoncommonforum.org/bats.html>
<https://www.nationaltribune.com.au/student-researching-new-street-lighting-to-protect-southampton-s-bats/>

Progetto_5

Corridoio notturno a Lille

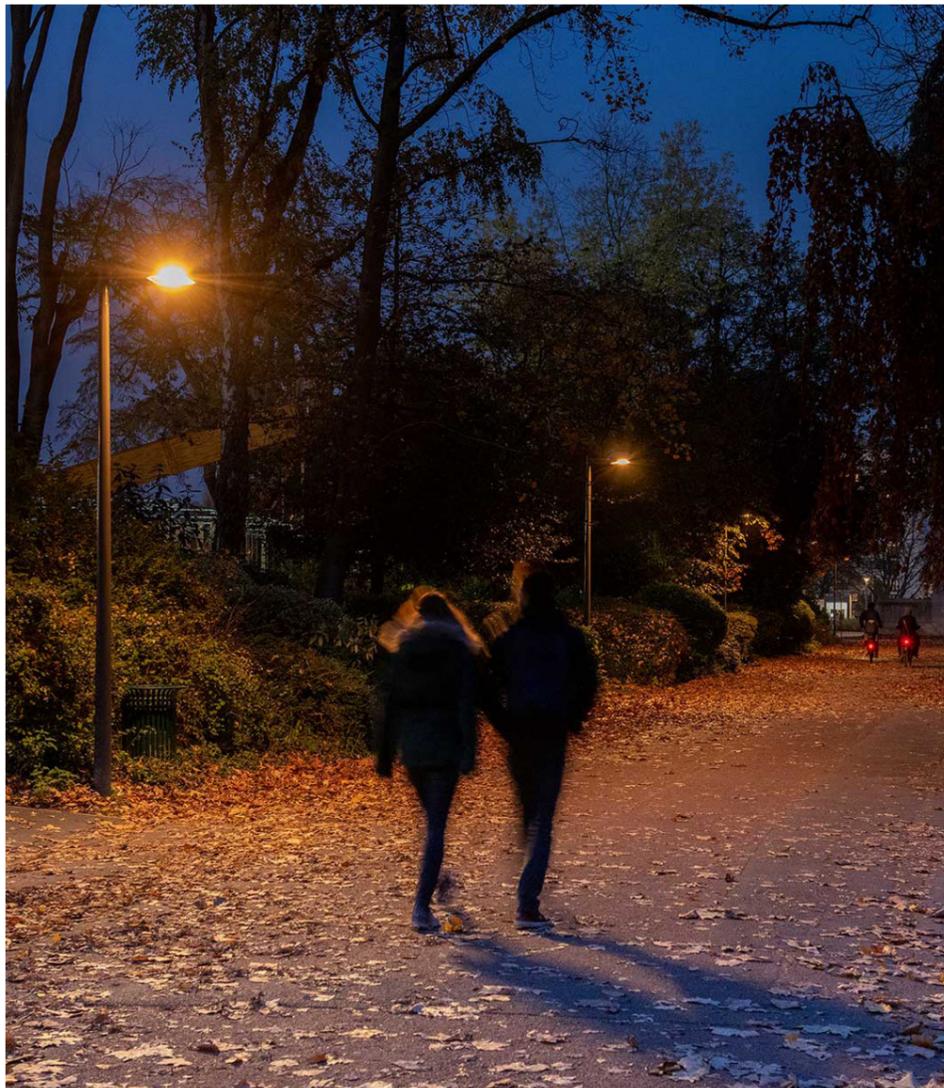
Luogo: Lille, Francia

Anno: 2017

Committente: Consiglio comunale di Lille

Progetto illuminotecnico: Schréder

Modello: CITEA NG2 mini



Fonte immagini: <https://ch.schreder.com/it/progetti/smart-lighting-lille-nocturnal-corridor-protects-people-and-wildlife>

A partire dal 2017 la città di Lille, con l'obiettivo di implementare il proprio "Piano per la biodiversità", ha promosso il progetto LUCIOLE che mira a proteggere i corridoi ecologici e biologici del parco de la Citadelle limitando l'inquinamento luminoso. La Cittadelle si estende per 110 ettari in cui coesistono una grande varietà di vegetazione ed essere viventi, tra cui 9 specie vulnerabili di pipistrelli, per questo motivo è necessario che l'illuminazione rispetti i loro ritmi notturni.

Il progetto ha portato allo sviluppo di un nuovo sistema di illuminazione che combina diversi elementi, tra cui i sensori automatici di movimento, la regolazione dell'intensità luminosa e della temperatura della luce.

In assenza di utenti, gli apparecchi sono spenti o dimmerati in base all'orario, l'intensità luminosa è bassa e il colore della luce è ambrato.

In presenza di utenti, l'intensità e il colore della luce si adattano automaticamente in base alla stagione (da ambrato a bianco) cercando di raggiungere un compromesso tra comfort e la riduzione degli impatti.

La temperatura di colore si adatta al comportamento stagionale dei pipistrelli: da aprile a novembre, quando i pipistrelli sono più attivi, gli apparecchi mantengono una temperatura di colore ambrato per non interferire con le loro attività. Da novembre a marzo, quando i pipistrelli sono in letargo, si accendono e si spengono con LED ambrati e bianchi caldi (2200K e 2700K) a seconda dell'orario e della presenza di persone.²

² <https://ch.schreder.com/it/progetti/smart-lighting-lille-nocturnal-corridor-protects-people-and-wildlife>



Progetto_6

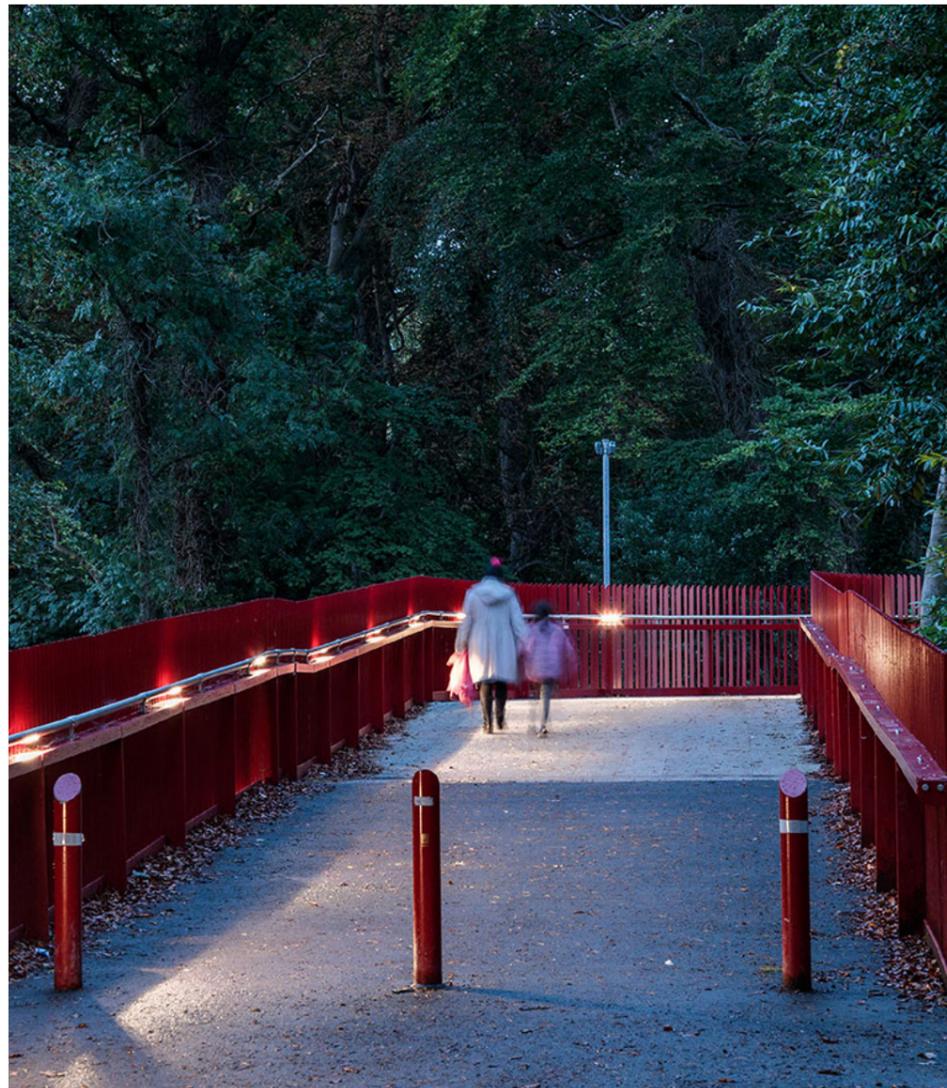
Dodder Greenway

Luogo: Dublino, Irlanda

Anno: 2021

Committente: Consiglio della Contea di Dublino Sud

Progetto illuminotecnico: Schröder



Fonte immagini: <https://ch.schreder.com/it/progetti/smart-lighting-promotes-active-mobility-protects-nature>

Progettato per consentire il passaggio tra il centro della città di Dublino e le montagne circostanti, la Dodder Greenway si estende per 17 km lungo il fiume Dodder.

La soluzione di illuminazione smart proposta, che sfrutta il sistema di gestione Schröder EXEDRA, è stata progettata per garantire la sicurezza senza compromettere gli equilibri dell'ecosistema fluviale.

La particolarità del progetto è rappresentata dal posizionamento e la disposizione degli apparecchi.

I LED sono integrati nei corrimano del ponte e sono orientati verso il suolo per assicurare visibilità del percorso evitando le dispersioni di luce verso l'alto e la foresta circostante. Inoltre, i sensori che affiancano gli apparecchi permettono di regolare i livelli di illuminazione in base al flusso di persone. Se il sentiero è trafficato gli apparecchi sono accesi, se durante la notte viene registrata minore affluenza la luminosità viene dimmerata automaticamente per non alterare i ritmi notturni delle specie locali.

Questo progetto costituisce un passo positivo verso una maggiore integrazione tra infrastrutture urbane e ambienti naturali circostanti attraverso l'applicazione di strategie innovative per limitare gli impatti sull'ambiente.



Progetto_7

Parco di Sybiraków

Luogo: Walbrzych, Polonia

Anno: 2023

Progetto illuminotecnico: Schréder

Modello: FLEXIE FG midi



Fonte immagini: <https://ch.schreder.com/it/progetti/parco-sybirakow-illuminazione-intelligente-aiuta-creare-polmone-verde>

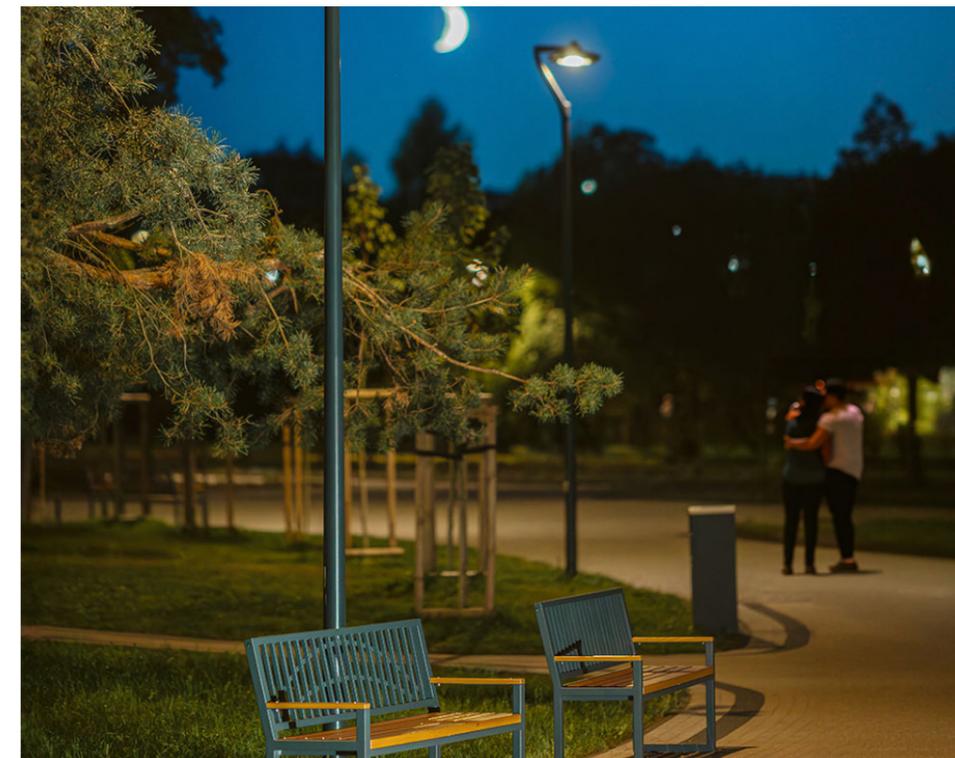
La riapertura e progettazione del Parco Sybiraków è stata in gran parte concentrata sui sistemi di illuminazione sostenibile in modo tale da "prolungare il giorno durante i mesi più bui e permettere a persone di tutte le età di godere delle strutture in modo sicuro, senza costi energetici eccessivi."³

I 109 apparecchi FLEXIA FG presentano delle caratteristiche che evidenziano la particolare attenzione verso l'ambiente.

Per prima cosa, l'apparecchio è dotato di un sistema di protezione che limita la dispersione del flusso luminoso verso la volta celeste e, essendo completamente rivolto verso il basso, rende visibile e sicuro il percorso per i pedoni e i ciclisti senza disturbare gli animali che popolano il parco. Per questo motivo l'apparecchio, al quale è stata assegnata certificazione Dark Sky, è stato riconosciuto come adatto per l'utilizzo in aree protette e parchi. Inoltre, grazie a un sistema di sensori, l'intensità luminosa viene regolata in base al momento della giornata e alla presenza di utenti: dalle 21 alle 4.00 del mattino sistema d'illuminazione è dimmerato dell'80%.

Durante questo intervallo, per limitare ulteriormente le conseguenze sugli ecosistemi, la temperatura di colore varia da 3000K a 2200K.

³ <https://ch.schreder.com/it/progetti/parco-sybirakow-illuminazione-intelligente-aiuta-creare-polmone-verde>



Progetto_8

Parco di Terhills Center

Luogo: Dilsen-Stokkem, Belgio

Progetto illuminotecnico: Schröder

Modello: TECEO S



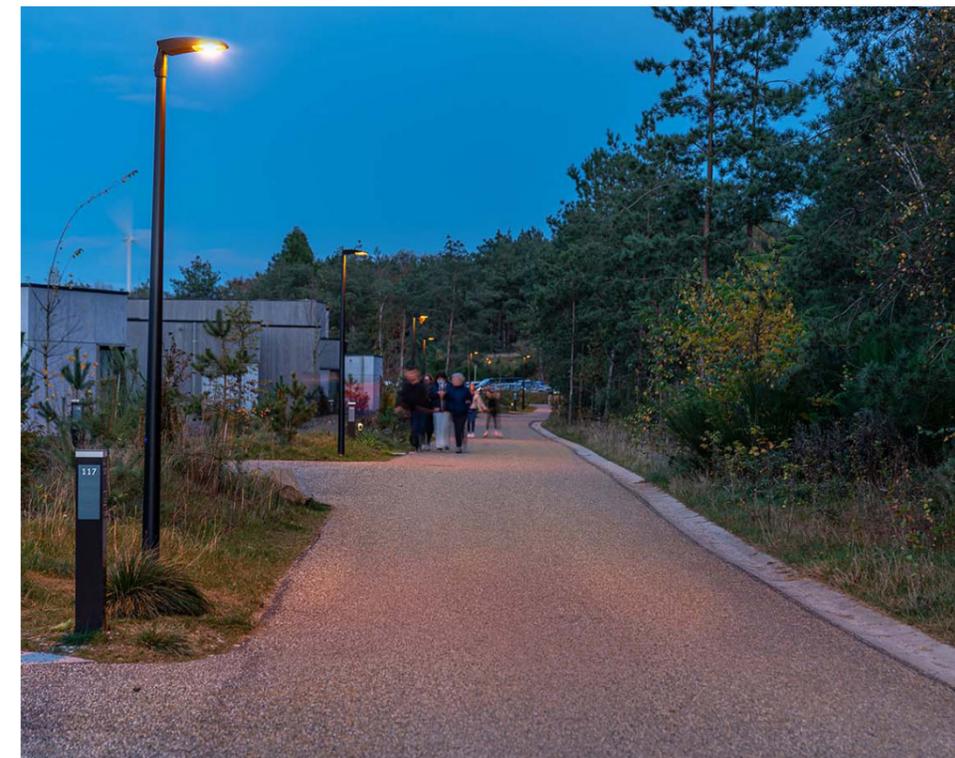
Fonte immagini: <https://ch.schreder.com/fr/projets/eclairage-led-ambre-schreder-au-terhills-center-parcs-respect-de-environnement-et-securite>

Il parco di Terhills, che si sviluppa per circa 356 ettari, rappresenta un esempio perfetto di coesione tra uomo e ambiente. Al suo interno si articola un centro turistico basato sull'innovazione e la sostenibilità composto da 250 cottage immersi nella natura.

In accordo con le idee su cui si basa il Centro anche l'illuminazione è stata pensata in modo tale da assicurare ottime prestazioni dal punto di vista energetico, della sicurezza e della visibilità, limitando l'inquinamento luminoso.

All'interno del parco sono stati installati 287 corpi illuminanti TECEO S dotati una schermatura per il controllo del flusso e disposti ad un'altezza di 4 metri da terra. In questo modo viene garantito un livello di illuminamento medio di 5 lux e la luce direzionata verso il basso (ULOR 0%) si concentra solo dove è strettamente necessaria, lungo i percorsi ciclopedonali.

Nel rispetto della biodiversità locale, la scelta della temperatura di colore ha rivestito un ruolo cruciale per il progetto. Anche in questo caso si sperimenta con gli apparecchi TECEO S di colore ambrato, limitando il più possibile la componente blu della luce. Questa scelta cromatica sottolinea la volontà dei progettisti di illuminare in maniera consapevole il parco per minimizzare l'impatto umano sugli ecosistemi, contribuendo alla coesistenza armoniosa tra sviluppo urbano e conservazione della natura.



Progetto_9

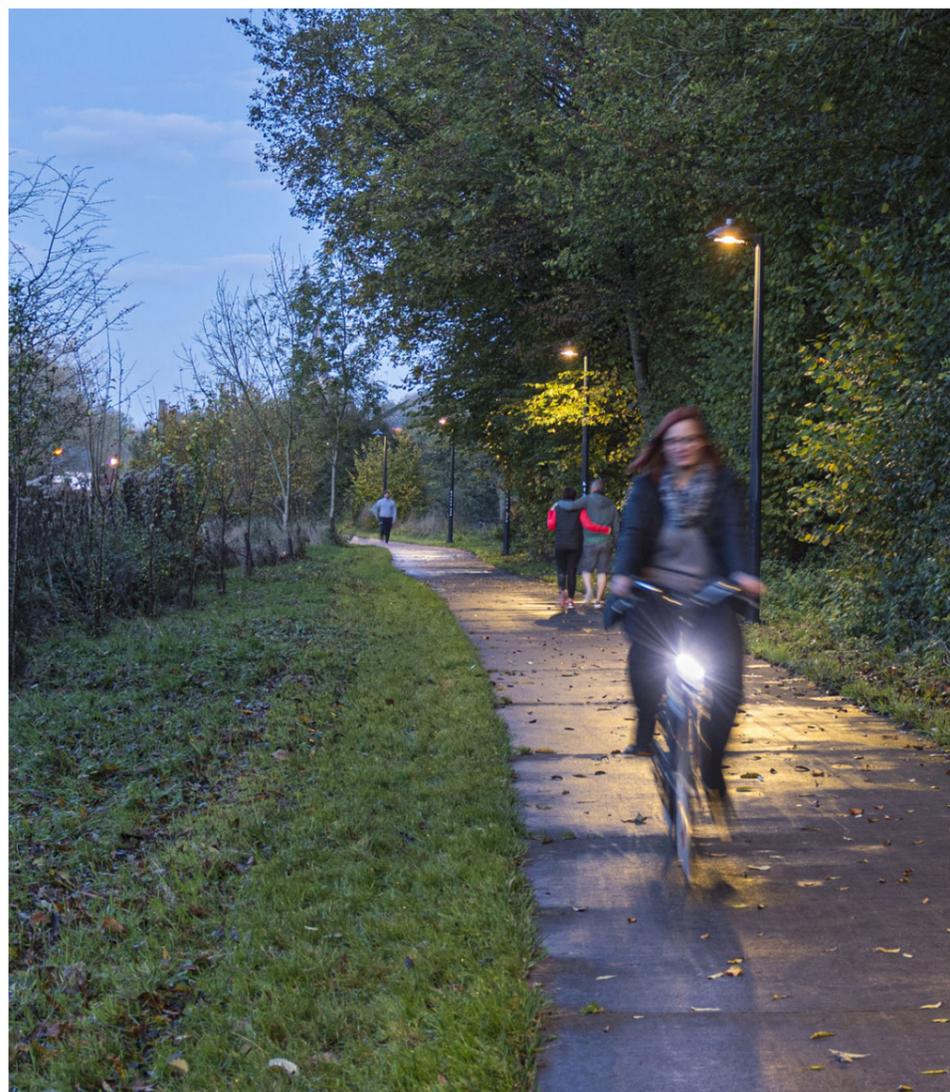
Pista ciclabile RAvel

Luogo: Thy-le-Château, Belgio

Committente: SPW

Progetto illuminotecnico: Schréder

Modello: CITEA NG2 mini



Fonte immagini: <https://ch.schreder.com/it/progetti/le-soluzioni-di-illuminazione-intelligente-incrementano-il-trasporto-sostenibile>

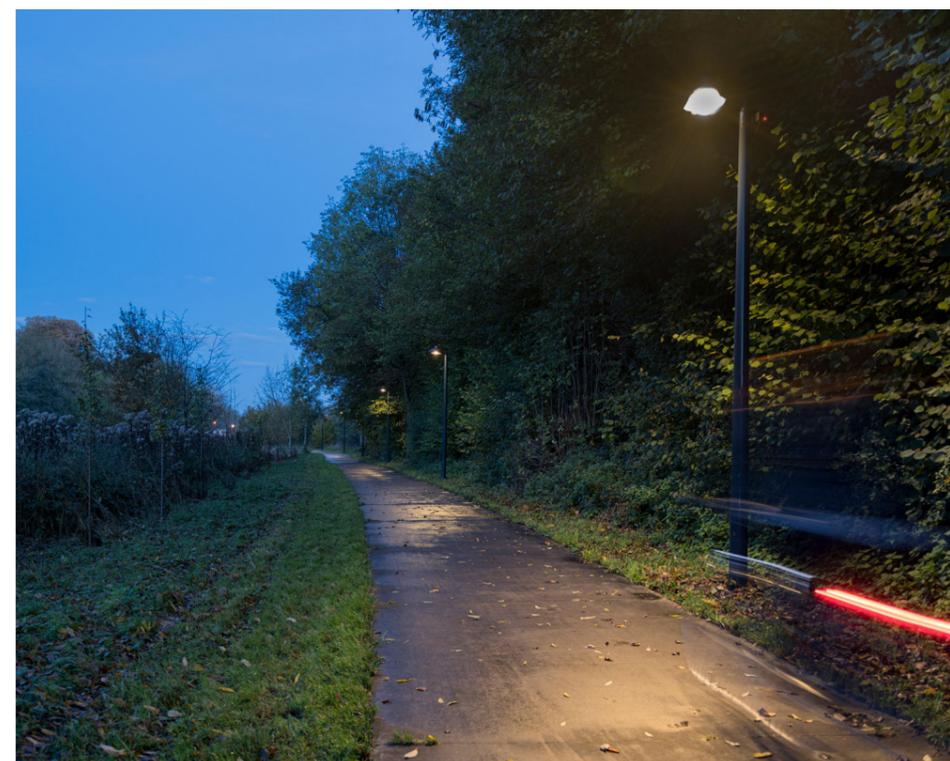
La Rete Autonoma delle Vie Lente, denominata RAvel, si estende sul territorio belga per 1440 km dedicati ad escursionisti e ciclisti che intendono promuovere la mobilità dolce attraverso l'uso della bicicletta come mezzo sostenibile.

La grande affluenza sulle linee del RAvel ha spinto l'autorità locali di Thy-le-Château ad implementare i sistemi di illuminazione.

I principali obiettivi progettuali hanno riguardato la necessità di garantire un'adeguata illuminazione di giorno e di notte limitando gli sprechi di energia e gli impatti sull'ambiente.

Grazie all'utilizzo di sensori l'illuminazione gli apparecchi lungo il percorso adattano l'intensità luminosa in base al momento della giornata e agli spostamenti degli utenti. Nel caso in cui venga rilevata la presenza di un pedone o di un ciclista l'intensità luminosa degli apparecchi viene ristabilita al 100 %, in caso contrario, se in un intervallo di quattro minuti non viene rilevato nessun movimento, gli apparecchi vengono dimmerati del 70%.

Il progetto rappresenta un esempio virtuoso per quanto riguarda la ricerca di equilibrio tra un'adeguata fruibilità dei percorsi da parte dei visitatori e il rispetto per l'ambiente naturale grazie all'uso di tecnologie avanzate e alla cura nella progettazione.



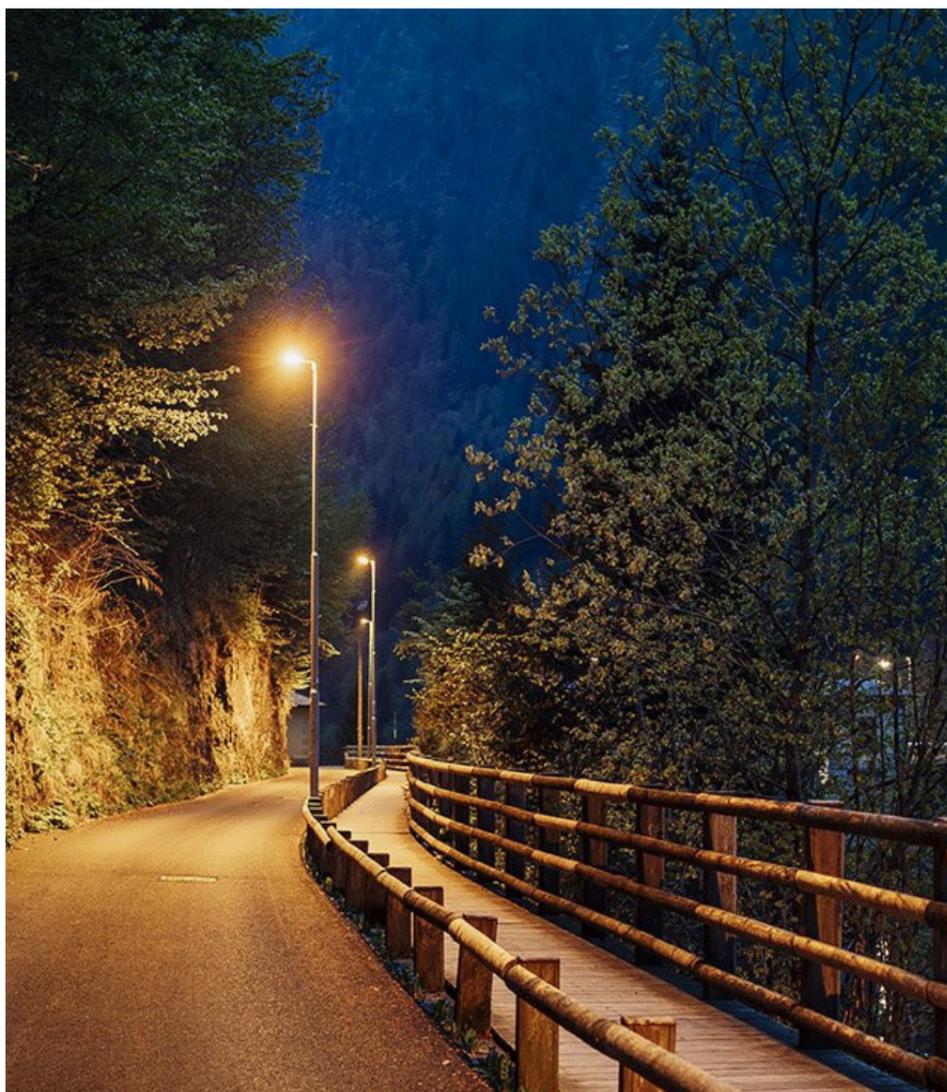
Progetto_10

Percorsi lungo il lago di Carona

Luogo: Carona, Italia

Progetto illuminotecnico: Cariboni group

Modello: Kairos sistema palo



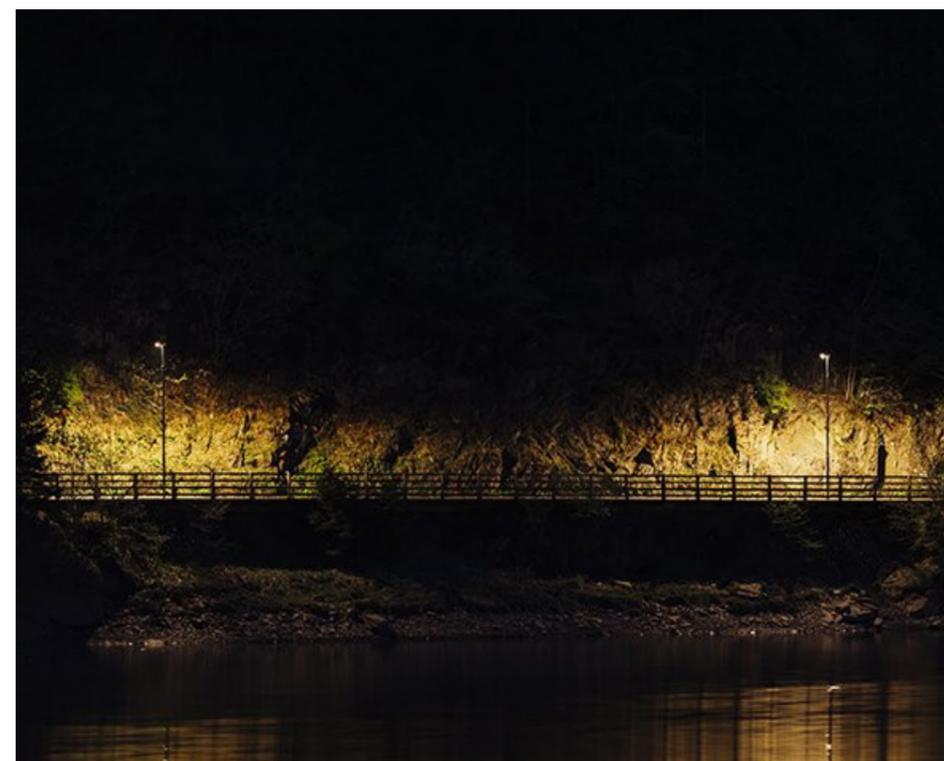
Fonte immagini: <https://www.caribonigroup.com/it/progetti/lago-di-carona>

Nella provincia di Bergamo, il lago di Carona, è attraversato da diversi percorsi naturalistici che si estendono verso la montagna, rappresentando una meta ideale per gli amanti della natura e delle attività all'aperto.

In un'ottica di valorizzazione e miglioramento della fruibilità di queste aree, è stato avviato un progetto di riqualificazione dei percorsi. Il progetto ha previsto inizialmente la sostituzione dei vecchi apparecchi con corpi illuminanti a LED, migliorando l'efficienza dell'impianto e ridurre i consumi energetici.

L'azienda Cariboni ha optato per l'installazione degli apparecchi Kairos caratterizzati dalla presenza di una schermatura nella parte alta che blocca le dispersioni verso alto.

Un'ulteriore elemento che dimostra l'attenzione nei confronti della flora e della fauna locali è rappresentato dalla scelta della temperatura di colore bianco-caldo. Allo stesso tempo gli apparecchi sono caratterizzati da un indice di resa cromatica piuttosto elevato (CRI>70) rendendo sicuro e adeguatamente illuminato il percorso per gli utenti.



3.4 Conclusioni

Le recenti ricerche in ambito illuminotecnico mostrano l'interesse da parte di studiosi e progettisti nei confronti degli effetti della luce elettrica, un elemento ormai imprescindibile per lo svolgimento delle attività umane, e mettono in evidenza la crescente consapevolezza nel bilanciare le esigenze di illuminazione con la protezione della flora e della fauna, nonché con la visibilità del cielo notturno, fondamentali per garantire la qualità degli ecosistemi e il benessere umano.

Sono molteplici gli strumenti che possono essere adottati per una progettazione più attenta e sostenibile. Le **buone pratiche** proposte all'interno delle linee guida internazionali offrono un punto di partenza solido per ridurre l'impatto negativo della luce elettrica. L'integrazione di sistemi di controllo flessibili, la regolazione dell'intensità luminosa e dello spettro, la regolazione della direzionalità del flusso luminoso, sono esempi di strategie utili per mitigare gli impatti ecologici della luce, salvaguardando il normale funzionamento ecologico.

All'interno di questo panorama il progettista deve fornire **strumenti utili** ai committenti e alle aziende per comprendere il reale impatto di un impianto di illuminazione e proporre soluzioni che prevengano potenziali danni ecologici e promuovano la sostenibilità, poiché se si analizza il paesaggio notturno risulta implicita una riflessione approfondita sull'impatto ambientale dei progetti illuminotecnici e sulla necessità di salvaguardare la notte.¹⁰⁹

Nella tabella seguente sono raccolti i valori relativi ai principali **parametri geometrici e illuminotecnici** in relazione alla mitigazione degli effetti dell'illuminazione elettrica sugli ecosistemi, basati su una combinazione di fonti come la letteratura scientifica, l'analisi delle applicazioni progettuali, le principali linee guida internazionali e i criteri stabiliti per la certificazione Dark Sky. Questa sintesi permette di confrontare e valutare le specifiche tecniche richieste per la progettazione di sistemi di illuminazione volti a ridurre l'inquinamento luminoso.

		Standards of Low Impact Lighting (LIL)	Guidelines for Outdoor Lighting – Royal astronomical society of Canada (pathways)	Certificazione Dark Sky (specifici per apparecchi speciali)	Applicazioni progettuali
Parametri illuminotecnici	Illuminamento massimo orizzontale	-	~1 lux	-	
	Illuminamento medio orizzontale	-	-	-	5 lux
	Lunghezza d'onda	Max 6% delle emissioni sotto i 500 nm	> 500 nm (*)	Max 7% delle emissioni tra 380-520 nm	> 500 nm (*)
	Temperatura di colore	≤ 2200 K	Max 3000 K	3000 K	1870<CCT<3000
	Dispersioni verso l'alto	ULOR= 0%	ULOR= 0%	ULOR= 0%	ULOR= 0%
	Dimmerazione	Si	Si	Si	Si
Parametri geometrici	h. dell'apparecchio da terra	-	1 m	-	3-3.5 m
	Distanza tra i pali	Almeno 3.7 volte l'h. dell'apparecchio	-	-	-

(*) flusso luminoso consentito nello spettro del visibile sopra i 500 nm per limitare la luce blu

109 Narboni R., Luce e paesaggi. Creare paesaggi notturni, Palladino P. (a cura di), Tecniche nuove, Milano 2006, pag. 113

Tabella 1. Parametri geometrici e illuminotecnici relativi alla mitigazione degli effetti dell'illuminazione elettrica sugli ecosistemi

4. Inquadramento normativo e legislativo: requisiti illuminotecnici

4.1 Premessa

I temi dell'illuminazione delle piste ciclabili e dell'inquinamento luminoso generato dagli apparecchi illuminotecnici sono gli argomenti centrali del lavoro di tesi, per questa ragione, il quadro normativo di riferimento è suddiviso in due parti dedicate a questi temi.

A partire dall'insieme di norme e protocolli più ampi relativi ai temi dell'illuminazione e dell'inquinamento luminoso è stato possibile estrapolare i parametri di confronto utili nella fase di analisi sperimentale. Le norme sono uno strumento fondamentale per regolare la progettazione e il mantenimento dell'illuminazione stradale in modo tale che possa garantire delle condizioni ottimali per svolgimento in sicurezza delle attività nel periodo notturno, valorizzare e rendere fruibili gli spazi, limitando i consumi energetici e gli effetti negativi sugli ecosistemi.

Il quadro normativo riguardante l'**illuminazione stradale** comprende:

- UNI 11248:2016 = Illuminazione stradale-Selezione delle categorie illuminotecniche
- UNI EN 13201-2:2016 = Illuminazione stradale – Parte 2: Requisiti prestazionali
- UNI EN 13201-3:2016 = Illuminazione stradale – Parte 3: Calcolo delle prestazioni
- UNI EN 13201-4:2016 = Illuminazione stradale – Parte 4: Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche
- UNI EN 13201-5:2016 = Illuminazione stradale – Parte 5: Indicatori delle prestazioni energetiche

Il **controllo della dispersione luminosa e gli effetti sull'ambiente** sono trattati all'interno di:

- UNI 10819:2021 = Luce e illuminazione – Impianti di illuminazione esterna – grandezze illuminotecniche e procedure di calcolo per la valutazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso
- Leggi regionali per il contenimento dell'inquinamento luminoso (in particolare la L.R. n.3/2018 Regione Piemonte)
- Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale - PRIC
- Technical Report CIE 150:2017 "Guide on the Limitation of the Effects of

Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations"

-Criteri ambientali minimi (CAM) per "l'acquisizione di SORGENTI LUMINOSE PER L'ILLUMINAZIONE PUBBLICA, l'acquisizione di APPARECCHI PER ILLUMINAZIONE PUBBLICA, l'affidamento del servizio di PROGETTAZIONE DI IMPIANTI PER ILLUMINAZIONE PUBBLICA", 2017

-Criteri ambientali minimi (CAM) per il "Servizio di illuminazione pubblica", 2018

4.2 Normativa tecnica per l'illuminazione stradale

4.2.1 UNI 11248:2016

La norma UNI 11248:2016 "Illuminazione stradale-Selezione delle categorie illuminotecniche" definisce le **prestazioni illuminotecniche** degli impianti di illuminazione esterni progettati per garantire la sicurezza degli utenti e mantenere livelli di visibilità adeguati durante il periodo notturno.

Inoltre la norma descrive una metodologia basata su un procedimento sottrattivo che, attraverso un'analisi dei rischi e la valutazione di specifici parametri di influenza, permette di classificare le zone esterne prese di riferimento e determinare la categoria illuminotecnica di progetto e di esercizio.

La definizione di una categoria illuminotecnica permette di descrivere, attraverso la valutazione delle caratteristiche specifiche dell'ambiente, le condizioni dell'illuminazione stradale e di conseguenza facilitare l'ottimizzazione dei sistemi e dei consumi energetici con una conseguente riduzione dell'impatto ambientale e dell'inquinamento luminoso.

La norma presenta la classificazione della strada in diverse zone di studio, definite come porzioni della carreggiata che presentano condizioni di traffico e parametri illuminotecnici omogenei. Le sei zone sono:

1. strade a traffico veicolare;
2. strade di classe F (con limite di velocità ≤ 30 km/h);
3. piste ciclabili e strade ove gli utenti principali sono i pedoni;
4. zone di conflitto;
5. presenza di rallentatori di velocità;
6. presenza di attraversamenti pedonali.

Una volta definita la zona di studio il progettista può identificare il tipo di strada e successivamente definire una categoria illuminotecnica di ingresso basata sulla conoscenza dei seguenti parametri:

- la classe della strada nella zona di studio;
- la geometria della zona di studio;

- l'utilizzazione della zona di studio;
 - le condizioni e la tipologia del traffico nella zona di studio;
 - l'influenza dell'ambiente circostante.
- La classificazione delle strade e l'individuazione delle categorie illuminotecniche di ingresso sono riportate nella tabella 1.

TIPO DI STRADA	DESCRIZIONE DEL TIPO DI STRADA	LIMITE DI VELOCITA' [Km h ⁻¹]	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO
A ₁	Autostrade extraurbane	Da 130 a 150	M1
	Autostrade urbane	130	
A ₂	Strada di servizio alle autostrade extraurbane	Da 70 a 90	M2
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	M2
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	Da 70 a 90	M3
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2)	Da 70 a 90	M2
	Strade extraurbane secondarie	50	M3
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	Da 70 a 90	M2
D	Strade urbane di scorrimento	70	M2
		50	
E	Strade urbane di quartiere	50	M3
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2)	Da 70 a 90	M2
	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
	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	Non dichiarato	P2
	Strade a destinazione particolare	30	

Tabella 1.
Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi, da UNI 11248:2016

Successivamente si può procedere con l'**analisi dei rischi** valutando i parametri di influenza che possono variare o rimanere costanti al fine di definire altre due categorie illuminotecniche, rispettivamente di progetto e di esercizio.

Le categorie illuminotecniche di progetto si basano su parametri costanti nel lungo periodo, tra cui:

- complessità del campo visivo normale;
- assenza o bassa densità di zone di conflitto;
- segnaletica cospicua nelle zone conflittuali;
- segnaletica stradale attiva;
- assenza di pericolo di aggressione.

Vengono considerati parametri di influenza costanti come l'indice di resa cromatica Ra e il rapporto tra il flusso luminoso emesso da una

sorgente misurato considerando il fattore spettrale di visibilità CIE per la visione scotopica e il flusso luminoso emesso da una sorgente per la visione fotopica S/P. Nel caso in cui $Ra \geq 60$ e $S/P \geq 1,1$ il progettista può prevedere una riduzione massima della categoria pari a uno.

Le categorie illuminotecniche di esercizio si basano su parametri di influenza che variano nel tempo in modo regolare o casuale.

In questo caso i parametri di influenza variabili da considerare sono:

- flusso orario di traffico <50 % rispetto alla portata di servizio;
- flusso orario di traffico <25 % rispetto alla portata di servizio;
- la riduzione della complessità nella tipologia di traffico.

Queste due categorie vengono dedotte modificando la categoria illuminotecnica d'ingresso in base ad un fattore di riduzione dei parametri di influenza individuati dall'analisi dei rischi.

Il fattore di riduzione che è possibile applicare alla categoria illuminotecnica di ingresso per ottenere quella di progetto varia da 0 a 1, mentre per la categoria illuminotecnica di esercizio il valore varia da 0 a 2. Inoltre la somma del valore della riduzione dei parametri, ridotta al più grande intero minore o uguale alla somma stessa, rappresenta la riduzione per ottenere la categoria illuminotecnica nota quella di ingresso.

Il decremento massimo consentito per la categoria illuminotecnica di progetto, a partire da quella di ingresso, corrisponde a 2 categorie, mentre se si passa da una categoria di progetto a una di esercizio il decremento corrisponde ad 1 se la categoria di progetto ha avuto una riduzione pari a 2, altrimenti il decremento non può essere superiore a 2 categorie.

Gli impianti adattivi, chiamati "full adaptive installation" (FAI), prevedono un'ulteriore riduzione per flussi di traffico minori del 12,5% del flusso orario di traffico di progetto e la riduzione massima raggiunta dalla categoria di esercizio rispetto a quella di ingresso è pari a 4.

I requisiti per la scelta della categoria illuminotecnica di impianti di illuminazione adattiva vengono introdotti all'interno dell'appendice D della norma e rappresentano un elemento di novità rispetto alla sua versione precedente. Questa tipologia di impianti è caratterizzata dalla possibilità di regolare il flusso luminoso emesso in base alle condizioni del traffico e meteorologiche suddividendosi in due categorie, i sistemi TAI (traffic adaptive installation) e FAI (full adaptive installation).

La categoria illuminotecnica dei sistemi TAI si basa sul campionamento del flusso orario del traffico. Queste misure devono essere effettuate in un intervallo variabile in base alla tipologia di veicolo, che in generale si assume pari a 10 minuti, e moltiplicando le misurazioni per sei per

ottenere un conteggio su base oraria.

Per ogni intervallo di conteggio è possibile applicare una variazione di categoria pari:

- 1, se due campionamenti consecutivi prevedono una riduzione di categoria illuminotecnica.
- +1, se in seguito al primo campionamento viene richiesto l'incremento di categoria.

Per determinare la categoria illuminotecnica dei sistemi adattivi FAI è necessario campionare, oltre al flusso orario del traffico, anche le condizioni meteorologiche, la luminanza della pavimentazione stradale (per categorie illuminotecniche d'ingresso M) o il livello di illuminamento (per categorie illuminotecniche d'ingresso C-P).

La procedura per il campionamento del flusso del traffico si articola in più passaggi:

- conteggio per 1 minuto dei veicoli, ciclisti, pedoni;
- moltiplicazione del valore ottenuto per 60 per ottenere il flusso orario;
- calcolo della media aritmetica dei primi 10 campioni;
- calcolo della media mobile: si ripetono i primi due passaggi scartando il primo campione e aggiungendo l'ultimo per il calcolo della media sempre su 10 campioni.

La media mobile permette di determinare la riduzione di luminanza media e illuminamento medio ottenuti tramite l'interpolazione lineare tra la categoria illuminotecnica di progetto e di esercizio.

Un importante approfondimento relativo all'illuminazione delle piste ciclabili e dei marciapiedi venne riportato all'interno della norma UNI 11248 nell'**appendice E**. Come specificato nel punto 6.4 le zone da considerare in questo caso sono i marciapiedi, gli attraversamenti pedonali e le piste ciclabili ben definite, mentre quando la corsia ciclabile non è segnalata la zona di studio corrisponde a tutta la strada, cioè alla totalità dello spazio compreso tra gli edifici o le proprietà che definiscono lateralmente la carreggiata.

La definizione della categoria illuminotecnica di queste zone di studio si differenzia in base alla posizione della pista rispetto alla carreggiata. Se il percorso ciclopedonale è adiacente alla strada è necessario individuare due categorie illuminotecniche distinte poiché le due zone sono caratterizzate da esigenze, prestazioni illuminotecniche e condizioni di visibilità differenti. Si prende come riferimento la categoria illuminotecnica di ingresso della strada e si ricava quella della zona di studio considerando il coefficiente medio di luminanza Q_0 e la tabella 2. Successivamente è possibile svolgere l'analisi dei rischi per procedere

con gli eventuali declassamenti.

Se il percorso ciclopedonale non è adiacente alla strada la categoria illuminotecnica di ingresso per questa zona pari a P2, valore riportato nella tabella 1, mentre le categorie illuminotecniche di progetto e di esercizio si ottengono con la procedura precedentemente descritta attraverso l'analisi dei rischi e la valutazione dei parametri di influenza. I valori medi di illuminamento e/o luminanza, con l'obiettivo di contenere i consumi energetici, non devono superare quelli previsti dalle categorie illuminotecniche di progetto o di esercizio del 35% per le categorie illuminotecniche di tipo M, e del **25%** per le altre categorie illuminotecniche.

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

Tabella 2.
Comparazione di categorie illuminotecniche, da UNI 11248:2016

4.2.2 UNI EN 13201-2:2016

La norma UNI EN 13201-2:2016 "Requisiti prestazionali" definisce dei **requisiti fotometrici** specifici per soddisfare le diverse esigenze degli utenti e associa ad ogni categoria illuminotecnica descritta nella precedente norma diverse classi degli impianti di illuminazione stradale. All'interno della norma UNI EN 13201-2 vengono delineate due classi specifiche per pedoni e ciclisti (P e HS) oltre che quella dedicata ai veicoli motorizzati e alle classi aggiuntive dedicate a zone di interesse con particolari condizioni di visibilità.

Le **classi M** sono rivolte ai guidatori di veicoli motorizzati su strade caratterizzate da velocità medio/elevate. Vengono associati a questa categoria sei classi, da M1 a M6, basate sulla luminanza del manto stradale della carreggiata in condizione asciutta o bagnata come parametro principale. Inoltre vengono riportati i valori minimi della luminanza media della superficie stradale e dell'uniformità generale e longitudinale.

Un altro criterio considerato è il disability glare, basato su un incremento di soglia TI. Il fattore TI indica l'aumento percentuale di contrasto tra un oggetto e lo sfondo per renderlo visibile in condizioni di abbagliamento disabilitante generato dagli apparecchi di illuminazione e l'illuminazione

delle aree circostanti.

Infine vengono riportati i valori minimi del rapporto di illuminamento ai bordi R_{Ei} , definito come il rapporto tra l'illuminamento orizzontale medio di una porzione di strada fuori dalla carreggiata e l'illuminamento orizzontale medio di una porzione di strada al suo interno.

CATEGORIA	LUMINANZA DEL MANTO STRADALE DELLA CARREGGIATA IN CONDIZIONI DI MANTO ASCIUTTO E BAGNATO				ABBAGLIAMENTO DEBILITANTE	ABBAGLIAMENTO DI CONTIGUITÀ
	Asciutto		Bagnato		Asciutto	Asciutto
	\bar{L} [minima mantenuta] [cd/m ²]	U_0 [minima]	U_l [minima]	U_{ow} [minima]	f_{Tl} [massima] [%]	R_{Ei} [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	20	0,30

Tabella 3.
Classi illuminotecniche M, da UNI EN 13201-2:2016

Le **classi C** riguardano i conducenti di veicoli a motore in aree di conflitto come zone commerciali, intersezioni stradali complesse, rotoatorie e zone di congestione del traffico in cui le convenzioni per il calcolo della luminanza della superficie stradale non sono applicabili e sono complesse da calcolare. Inoltre possono essere applicate anche in aree dedicate a pedoni e ciclisti ritenute maggiormente conflittuali.

I criteri per la definizione di queste classi si basano sull'illuminamento orizzontale e sono espressi dall'illuminamento medio mantenuto \bar{E} e dall'uniformità generale della luminanza della superficie stradale U_0 .

CATEGORIA	ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE	
	\bar{E} [minimo mantenuto] [lx]	U_0 [minimo]
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20	0,40
C3	15	0,40
C4	10	0,40
C5	7,50	0,40

Tabella 4.
Classi illuminotecniche C, da UNI EN 13201-2:2016

La classificazione degli impianti di illuminazione stradale per aree dedicate a pedoni e ciclisti come piste ciclabili o pedonali, corsie di emergenza, e aree della strada non comprese nella carreggiata, ad esempio parcheggi e marciapiedi, viene suddivisa in due classi, **P** e **HS**. La differenza tra queste due categorie consiste nella **grandezza illuminotecnica** che viene considerata e che, diversamente delle classi

M, non si base alla luminanza ma sull'illuminamento della superficie stradale.

La grandezza illuminotecnica considerata per le classi P è l'illuminamento orizzontale espresso dall'**illuminamento medio e minimo mantenuti**.

Per questa classe vengono anche riportati dei valori dell'illuminamento sul piano verticale E_v in un punto, e l'illuminamento semicilindrico E_{sc} in un piano sopra il livello della strada ritenuti essenziali nei casi in cui è necessario il riconoscimento facciale.

CATEGORIA	ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE		REQUISITO AGGIUNTIVO PER IL RICONOSCIMENTO FACIALE	
	\bar{E} [minimo mantenuto] [lx]	E_{min} [mantenuto] [lx]	$E_{v,min}$ [mantenuto] [lx]	$E_{sc,min}$ [mantenuto] [lx]
P1	15	3,00	5,0	5,0
P2	10	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
P7	Prestazione non determinata	Prestazione non determinata	-	-

Tabella 5.
Classi illuminotecniche P, da UNI EN 13201-2:2016

Per le classi HS vengono riportati i valori dell'illuminamento emisferico medio E_{hs} e dell'uniformità complessiva dell'illuminamento della superficie stradale U_0 .

CATEGORIA	ILLUMINAMENTO EMISFERICO	
	\bar{E}_{hs} [minimo mantenuto] [lx]	U_0 [minimo]
HS1	5,00	0,15
HS2	2,50	0,15
HS3	1,00	0,15
HS4	Prestazione non determinata	Prestazione non determinata

Tabella 6.
Classi illuminotecniche HS, da UNI EN 13201-2:2016

Infine, la norma UNI EN 13201-2 introduce anche due classi aggiuntive che possono essere utilizzate nelle zone in cui l'obiettivo dell'illuminazione è quello di migliorare il riconoscimento facciale e aumentare le sensazioni di sicurezza, le **classi SC**, e nei casi in cui è necessario distinguere le superfici verticali come aree di svincolo o di pedaggio, le **classi EV**.

Le classi SC sono basate sull'illuminamento semicilindrico minimo mantenuto valutato a 1.5 m dalla superficie stradale, mentre le classi EV, sono espresse attraverso l'illuminamento del piano verticale minimo mantenuto.

ILLUMINAMENTO SEMICILINDRICO	
CATEGORIA	$E_{sc, min}$ [mantenuto] [lx]
SC1	10,0
SC2	7,50
SC3	5,00
SC4	3,00
SC5	2,00
SC6	1,50
SC7	1,00
SC8	0,75
SC9	0,50

Tabella 7.
Classi illuminotecniche SC, da
UNI EN 13201-2:2016

ILLUMINAMENTO DEL PIANO VERTICALE	
CATEGORIA	$E_{v, min}$ [mantenuto] [lx]
EV1	50
E2	30
EV3	10
EV4	7,50
EV5	5,00
EV6	0,50

Tabella 8.
Classi illuminotecniche EV, da
UNI EN 13201-2:2016

All'interno della normativa UNI EN 13201-2 vengono definiti i parametri che regolano e definiscono le prestazioni di un impianto di illuminazione, ma, nelle appendici A e C, vengono anche introdotti dei parametri con lo scopo di limitare gli effetti dell'illuminazione sull'ambiente circostante, in particolare i fenomeni di abbagliamento.

Nei casi in cui non è possibile calcolare l'incremento di soglia TI, le classi G*1 a G*6 riportano i valori di intensità luminosa massima da mantenere sotto l'orizzontale per controllare l'obtrusive light e ridurre il disability glare.

Le classi G*1, G*2 e G*3 corrispondono a apparecchi "semi cut-off" e "cut off", mentre le classi G*4, G*5 e G*6 corrispondono a apparecchi completamente schermanti e più adatti per il controllo dell'inquinamento luminoso dovuto alle emissioni verso l'alto.

CATEGORIA	INTENSITÀ LUMINOSA MASSIMA IN DIREZIONI AL DI SOTTO DELLA LINEA ORIZZONTALE IN CD/KLM DEL FLUSSO DI EMISSIONE DELL'APPARECCHIO DI ILLUMINAZIONE			ALTRI REQUISITI
	a 70° e oltre	A 80° e oltre	a 90° e oltre	
G*1		200	50	Nessuno
G*2		150	30	Nessuno
G*3		100	20	Nessuno
G*4	500	100	10	Intensità luminose per angoli maggiori di 95° pari a zero
G*5	350	100	10	Intensità luminose per angoli maggiori di 95° pari a zero
G*6	350	100	0	Intensità luminose per angoli maggiori di 95° pari a zero

Tabella 9.
Classi di intensità luminosa, da
UNI EN 13201-2:2016

Per quanto riguarda gli impianti di illuminazione di classe P, utilizzati in aree destinate a pedoni e ciclisti, il **disability glare** risulta limitato nel caso in cui i valori di TI rispettino i limiti massimi definiti dalla tabella 10, riportata nell'appendice C.

CATEGORIA	f_{η} [massima] [%]
P1	20
P2	25
P3	25
P4	30
P5	30
P6	35
P7	Prestazione non determinata

Tabella 10.
Valori massimi di f_{TI} per le classi P, da UNI EN 13201-2:2016

Il controllo del **discomfort glare**, a favore di ciclisti e pedoni, viene regolato attraverso l'utilizzo di sei Glare index classes. La tabella 11 riporta i valori massimi calcolati come $I \times A^{0.5}$ [cd/m], dove I corrisponde al valore massimo dell'intensità luminosa e A rappresenta l'area della porzione luminosa su un piano perpendicolare alla direzione di I.

CATEGORIA	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
INDICE DI ABBAGLIAMENTO MASSIMO	-	7000	5500	4000	2000	1000	500

Tabella 11.
Glare Index Classes, da UNI EN 13201-2:2016

4.2.3 UNI EN 13201-3:2016

La norma UNI EN 13201-3:2016 riguarda le **convenzioni e le formule** per il **calcolo dei parametri** necessari per garantire la conformità degli apparecchi di illuminazione relativi alle diverse categorie illuminotecniche introdotte nella norma UNI EN 13201-2.

Le novità introdotte con la versione aggiornata al 2016 della norma riguardano: la formalizzazione dell'algoritmo di calcolo, la risoluzione delle problematiche nel calcolo di TI e il calcolo di REI (Edge Illuminance Ratio) per caratterizzare l'illuminazione nelle zone limitrofe alla carreggiata. Inoltre la norma introduce il numero di cifre decimali, pari a 2, da riportare per tutti i parametri, tranne per i valori di illuminamento medio compreso tra 10-20 lx (1 cifra decimale) e maggiori di 20 lx (nessuna cifra decimale).

Per descrivere le caratteristiche qualitative della luce e definire le prestazioni di un impianto di illuminazione è necessario calcolare i dati fotometrici delle fonti luminose tramite l'uso delle tabelle di intensità (I-table) e (r-table).

Le tabelle I-table danno informazioni riguardo la distribuzione dell'intensità luminosa espressa in candele, mentre le tabelle r-table descrivono la riflessione della superficie stradale attraverso il coefficiente di luminanza ridotto.

Per quanto riguarda le piste ciclabili, il parametro che permette di definire la classe illuminotecnica è l'**illuminamento**. All'interno della norma vengono riportate le formule per il calcolo dell'illuminamento orizzontale, emisferico, semicilindrico e verticale e le modalità per svolgimento delle misure in campo.

L'illuminamento deve essere ricavato a partire dalla definizione dell'area rilevante, lo spazio racchiuso tra due apparecchi di illuminazione nella stessa fila, e la distribuzione dei punti di calcolo su di essa. Successivamente l'area deve essere suddivisa in una **griglia** contenente in direzione longitudinalmente dei punti distanziati fra loro di una quantità D, data dalla formula:

$$D = \frac{S}{N} \text{ [m]}$$

Dove:

-S rappresenta la distanza tra gli apparecchi [m]

-N rappresenta il numero dei punti di calcolo in direzione longitudinale.

- Se $S \leq 30$ m, $N=10$

- Se $S > 30$ m, N corrisponde al valore più piccolo che garantisca $D \leq 3$ m

Il primo e l'ultimo punto di ogni riga devono essere posizionati ad una distanza D/2 dall'apparecchio di illuminazione.

In direzione trasversale si considerano tre righe di punti distanti tra loro di una quantità d calcolata come:

$$d = \frac{Wt}{n} \text{ [m]}$$

Dove:

-Wt è la larghezza della carreggiata in direzione trasversale [m]

-n è il numero di punti in direzione trasversale con un valore ≥ 3 in modo tale che d sia minore o uguale a 1.5 m

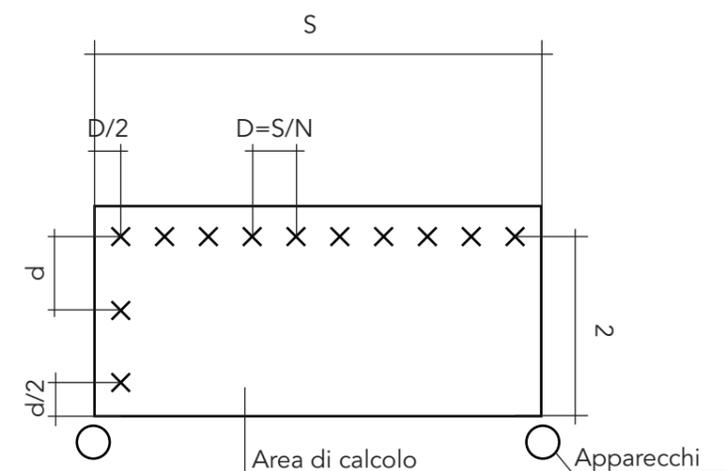


Fig. 1
Griglia per il calcolo dell'illuminamento, da UNI EN 13201-3:2016

La norma riporta anche la formula matematica per il calcolo dell'**illuminamento orizzontale Eh** e **illuminamento verticale Ev**.

$$E_h = \sum_{k=1}^{nLU} \frac{l_k(C, \gamma) * f_M * \cos^3 \epsilon_k}{H_k^2}$$

Dove:

-k è l'indice dell'apparecchio nella sommatoria;

-n_{LU} è il numero di apparecchi;

-l_k(C,γ) è l'intensità luminosa dell'apparecchio rispetto agli angoli C e γ [cd];

-f_M è il fattore di manutenzione complessivo;

-ε_k è l'angolo di influenza [°];

-H_k è l'altezza di montaggio dell'apparecchio [m].

$$E_V = \sum_{k=1}^{n_{lu}} \frac{I_k(C, \gamma) \cdot f_M \cdot \sin \varepsilon_k \cdot 1 \div \cos \alpha_k}{d_{LkP}^2}$$

Dove:

- k è l'indice dell'apparecchio nella sommatoria;
- n_{LU} è il numero di apparecchi;
- $I_k(C, \gamma)$ è l'intensità luminosa dell'apparecchio rispetto agli angoli C e γ [cd];
- f_M è il fattore di manutenzione complessivo;
- ε_k è l'angolo di influenza [°];
- α_k è l'angolo tra il piano verticale compreso tra il piano perpendicolare al piano di calcolo e il piano passante per l'apparecchio;
- d_{LkP} è la distanza tra gli apparecchi e il punto al centro della base del rettangolo nel piano di illuminazione verticale [m].

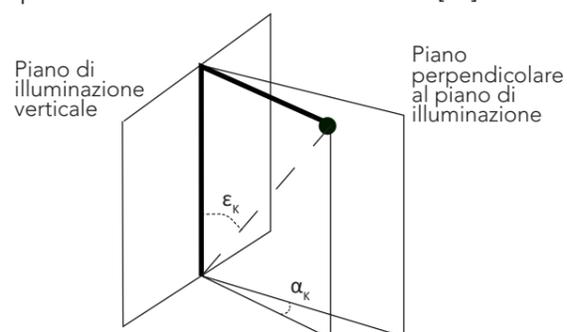


Fig. 2
Schema degli angoli utilizzati per il calcolo dell'illuminamento verticale, da UNI EN 13201-3:2016

Un procedimento analogo viene descritto per il calcolo della luminanza per il quale viene definita una griglia simile a quella per il calcolo dell'illuminamento e che differisce per la spaziatura in direzione trasversale, in questo caso definita come:

$$d = \frac{Wt}{3} \text{ [m]}$$

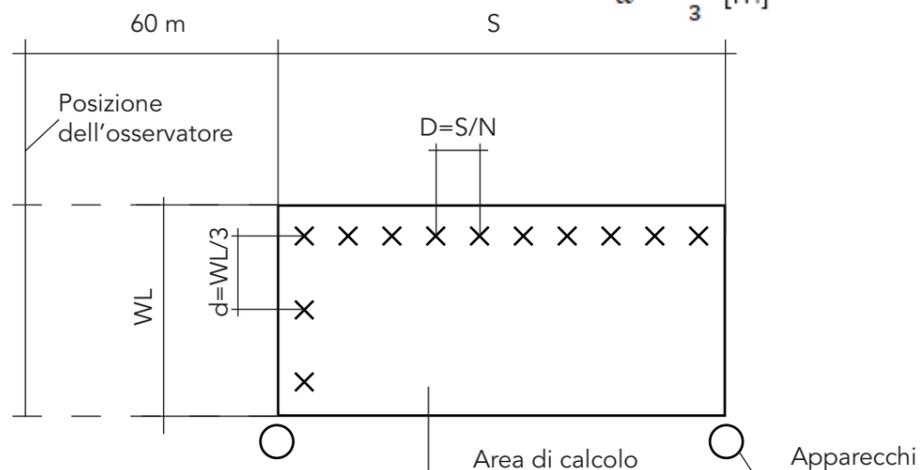


Fig. 3
Griglia per il calcolo della luminanza, da UNI EN 13201-3:2016

Inoltre per i calcoli della luminanza l'occhio dell'osservatore deve trovarsi a 1.50 m rispetto al livello della strada e a 60 m di fronte all'area di calcolo. Terminata la trattazione delle procedure per il calcolo dell'illuminamento e della luminanza, viene riportata la descrizione delle caratteristiche qualitative associate a questi parametri come la luminanza media, l'uniformità generale, l'uniformità longitudinale, l'incremento di soglia f_{TI} e il rapporto di illuminamento ai bordi R_{EI} .

4.2.4 UNI EN 13201-4:2016

La quarta parte della norma introduce le convenzioni relative alle **misurazioni delle prestazioni fotometriche** di un impianto di illuminazione stradale, il calcolo delle incertezze di misura e le caratteristiche della strumentazione.

Le misurazioni si differenziano in quattro tipologie in base ai parametri considerati e alla finalità:

- misurazione in fase di **collaudo finale**: vengono effettuate al termine dell'intervento progettuale o di riqualificazione per verificare la conformità con le normative;
- misurazioni durante il **ciclo di vita**: vengono effettuate periodicamente per valutare lo stato dell'impianto;
- misurazioni per **l'illuminazione adattiva**: sono effettuate in modo regolare per controllare le prestazioni e il flusso luminoso degli apparecchi di illuminazione adattivi;
- misurazione per **l'indagine di discrepanze**: vengono effettuate solo in caso di necessità per valutare se l'apparecchio garantisce i requisiti prestazionali richiesti.

Le misurazioni possono essere effettuate con sistemi di misurazione statici o dinamici. Il sistema dinamico si muove lungo la superficie stradale per effettuare le misurazioni mentre il sistema di misura statico rimane fisso durante l'acquisizione delle misure.

La scelta della tipologia di sistema è legata allo scopo delle misurazioni, le condizioni locali e all'accuratezza richiesta, ad esempio, un sistema di misura dinamico permette di calcolare la lunghezza totale di un impianto di illuminazione stradale in tempo minore rispetto ad un sistema di misura statico.

L'incertezza delle misure si articola in tre componenti legate a:

- le caratteristiche metrologiche del sistema di misura;
- le condizioni ambientali e meteorologiche che influenzano istantaneamente le prestazioni dell'impianto;
- l'influenza nominale e della disposizione dell'impianto di illuminazione in esame.

Le cause dell'incertezza possono essere ulteriormente classificate in componenti più specifiche:

- l'accuratezza degli strumenti di misura;
- la precisione del riferimento delle coordinate dell'area misurata;
- l'accuratezza nella procedura di misurazione;
- l'elaborazione dei dati;
- le caratteristiche dell'impianto e la stabilità dei parametri durante le misurazioni;

- lo stato dell'alimentazione elettrica;
- le condizioni meteorologiche, le temperatura, l'umidità relativa e velocità del vento;
- le condizioni ambientali (presenza di alberi, oggetti schermanti, altre fonte luminose).

Le misurazioni devono essere svolte considerando l'intera lunghezza dell'impianto di illuminazione stradale, ma nel caso in cui le caratteristiche dell'impianto siano sempre costanti è possibile selezionare un numero più ridotto e rilevante di zone in cui effettuare le misurazioni, a condizione che le scelte siano motivate all'interno del report finale.

La norma UNI EN 13201-4 riporta anche le specifiche modalità per misurare la luminanza e l'illuminamento.

L'illuminamento deve essere calcolato in base alla categoria illuminotecnica considerata, nel caso delle classi P ed HS riferite a zone pedonali e ciclabili, si considera l'illuminamento orizzontale ed emisferico. Per il calcolo dell'illuminamento orizzontale con un sistema statico, il piano di riferimento deve essere posto entro 20 cm dal suolo, mentre se gli apparecchi di illuminazione si trovano ad altezze inferiori ai 2 m le strumentazioni devono essere posizionate fino a 5 cm del livello del suolo.

Nel caso di misure dinamiche l'altezza dell'apparecchio di misurazione deve essere posta entro 30 cm dal livello del suolo e se gli apparecchi si trovano ad un'altezza inferiore ai 2 m i valori di illuminamento devono essere calcolati anche all'altezza di misurazione nominale.

Inoltre, i punti della griglia situati in zone d'ombra o in corrispondenza della segnaletica stradale non devono essere considerati ma devono essere comunque riportati nel report finale.

Una volta terminate le misurazioni deve essere compilato un **report** contenente:

- gli obiettivi delle misurazioni;
- le informazioni rilevanti raccolte durante la misurazione;
- i dettagli relativi alle condizioni degli strumenti utilizzati;
- i dettagli sulle condizioni meteorologiche, ambientali e di fornitura di energia elettrica;
- una descrizione della procedura adottata per la misurazione e l'elaborazione dei dati;
- la valutazione dell'incertezza di misura;
- i risultati della misura con le loro incertezze;
- nel caso in cui non venga considerata l'intera lunghezza dell'installazione

devono essere riportate le motivazioni di questa scelta;

- le misure adottate per prevenire e considerare le presenza di luce diretta o riflessa;
- la velocità media del veicolo durante le misurazioni e la valutazione dell'incertezza (per i sistemi dinamici).

4.2.5 UNI EN 13201-5:2016

L'insieme delle direttive relative all'illuminazione pubblica stradale termina con la norma UNI EN 13201-5 relativa alle **prestazioni energetiche** degli impianti.

La norma introduce le modalità per il calcolo di due indicatori:

- l'indicatore di densità di potenza PDI, D_p
- l'indicatore di consumo energetico annuale AECl, D_e

L'indicatore di **densità di potenza** D_p permette di quantificare l'energia necessaria ad un impianto di illuminazione pubblica e può essere calcolato tramite la formula:

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (E_i \cdot A_i)} \quad [\text{W}/\text{lm} \cdot \text{m}^2]$$

Dove:

- P rappresenta la potenza del sistema di illuminazione [W]. Questo valore corrisponde alla somma delle potenze operative delle fonti luminose, di sistemi di controllo, interruttori e altri apparecchi elettronici;
- E è l'illuminamento medio orizzontale mantenuto riferito ad una sotto-area [lx]. Per le classi illuminotecniche P l'illuminamento medio orizzontale deve essere calcolato come riportato all'interno della norma UNI EN 13201-3, mentre per le classi HS l'illuminamento medio orizzontale deve essere calcolato attraverso la media dei valori di illuminamento riferiti ad una griglia di punti utilizzata anche per il calcolo dell'illuminamento semicilindrico;
- A è la superficie della sotto-area illuminata dal sistema di illuminazione [m^2];
- n rappresenta il numero di sotto-aree.

Nel caso in cui il sistema operi ad una potenza massima costante durante la notte esiste un unico valore di D_p , mentre, se si verifica la variazione di potenza associata a diversi livelli di illuminazione, devono essere calcolati più indicatori di densità di potenza per ogni configurazione di utilizzo dell'apparecchio.

Il consumo di energia elettrica varia durante l'anno in base al numero di ore notturne/diurne nei diversi periodi dell'anno, le condizioni meteorologiche variabili che influenzano la percezione visiva, la densità del traffico e la variazione della funzione della strada o delle aree pubbliche.

L'indicatore del **consumo energetico annuale** D_e può essere calcolato tramite la formula:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A} \quad [\text{W} \cdot \text{h} / \text{m}^2]$$

Dove:

- P_j rappresenta la potenza operativa relativa al periodo di tempo j [W];
 - t_j è la durata del periodo j in cui viene consumata la potenza P , in un anno [ore];

- A è la superficie dell'area illuminata [m^2];

- m rappresenta il numero di periodi con diversi valori di potenza operativa P_j .

In generale, entrambi gli indicatori devono essere calcolati per valutare la performance energetica di un sistema di illuminazione e possono essere applicati a tutte le tipologie di aree comprese nelle classi illuminotecniche M, C, e P definite nella parte 2 della norma UNI EN 13201.

4.3 Legislazione e normativa tecnica per il contenimento dell'inquinamento luminoso

4.3.1 UNI 10819:2021

Il principale riferimento normativo per il contenimento dell'inquinamento luminoso generato dai sistemi di illuminazione esterna è la norma UNI 10819:2021 "Luce e illuminazione – Impianti di illuminazione esterna – grandezze illuminotecniche e procedure di calcolo per la valutazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso".

La norma, entrata in vigore nel marzo 2021, sostituisce la precedente del 1999 ed introduce importanti novità nei metodi di calcolo e verifica per **valutare l'inquinamento luminoso** degli impianti di illuminazione.

La norma si occupa non solo di impianti di illuminazione stradale, ma anche di posti di lavoro in esterni, di illuminazione di impianti e aree sportive, di monumenti e edifici di pregio architettonico, di aree residenziali, parchi e giardini, di insegne luminose e sistemi pubblicitari illuminati. Per ciascuna categoria vengono forniti i parametri di verifica

necessari per garantire la conformità degli impianti alla normativa.

Tra gli ambiti applicativi considerati non sono riportate le piste ciclabili per cui possono essere presi come di riferimento i parametri per la valutazione delle dispersioni luminose relative agli impianti stradali.

Per le valutazioni degli impianti stradali i **parametri di verifica** sono:

- R_n : il **rapporto medio di emissione superiore** dato dal rapporto tra il flusso luminoso emesso da n apparecchi verso l'alto e il flusso totale emesso.

$$R_n = 100 \frac{\sum_{i=1}^n \phi_{u,i}}{\sum_{i=1}^n \phi_{t,i}}$$

Il valore del flusso emesso verso la volta celeste può essere considerato convenzionalmente:

- 100% per gli apparecchi rivolti verso l'alto e senza schermature;
- 50% per gli apparecchi con emissione luminosa massima in corrispondenza del piano orizzontale e senza schermatura;
- 20% per gli apparecchi con emissione luminosa rivolta verso il basso e/o schermati in parte.

- I_A, I_{fn} : per semplificare il calcolo della luce dispersa verso l'alto, in alternativa all'uso del fattore R_n , si può fare riferimento all'**intensità luminosa caratteristica** in valore assoluto, I_A , e l'intensità luminosa caratteristica riferita a un flusso luminoso di 1000 lm, I_{fn} .

$$I_A = I_{fn} \times \frac{\phi_t}{1000}$$

- E_{max} : L'**illuminamento massimo** deve essere calcolato:
 - su una superficie di calcolo verticale in corrispondenza della facciata dell'edificio;
 - su una superficie di calcolo verticale passante per il perimetro della proprietà di altezza minima pari all'altezza della fonte luminosa più alta;
 - su una superficie di calcolo orizzontale di larghezza fino a 2 m e altezza massima 0,25m dal suolo.

- I_{sg} : L'**indice spettrale** I_{sg} permette di caratterizzare una fonte rispetto alle proprietà spettrali e in particolare la quantità di luce blu emessa particolarmente dannosa per gli ecosistemi.

$$I_{sg} = -2,5 \times \log \frac{\sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) \Delta(\lambda)}{\sum_{\lambda_1}^{\lambda_3} E(\lambda) \times V(\lambda) \Delta(\lambda)}$$

Dove:

- E(λ) è l'energia associata alle specifiche lunghezze d'onda;
- $\lambda_1 = 380$ nm;
- $\lambda_2 = 500$ nm;
- $\lambda_3 = 780$ nm;
- $\Delta(\lambda)$ è l'intervallo della lunghezza d'onda.

• q_{inst} : per le strade dedicate ai mezzi motorizzati per valutare gli effetti dell'inquinamento luminoso è necessario calcolare anche il **fattore di illuminazione** dell'impianto q_{inst} .

$$q_{inst} = \frac{\bar{L}}{Q_0 \bar{E}}$$

Dove:

- \bar{L} è la luminanza media del manto stradale calcolata come indicato nella norma UNI EN 13201-3:2016;
- \bar{E} è l'illuminamento orizzontale medio sul manto stradale [lx];
- Q_0 è il coefficiente medio di luminanza calcolato come indicato nella norma UNI 11248:2016.

Oltre ai parametri di riferimento, la norma propone quattro tipi di verifiche per determinare la conformità dell'impianto relativamente alle dispersioni verso l'alto e all'inquinamento luminoso rispetto ai parametri definiti precedentemente.

1. la **verifica istruttoria** documentale non prevede misurazioni specifiche ma comprende le attività e le valutazioni atte a verificare la conformità relativa ai documenti del progetto dell'impianto;

2. la **verifica geometrica** sul campo comprende le attività e le valutazioni per verificare la conformità dell'impianto di illuminazione riguardo al loro orientamento e alle geometrie, facendo riferimento ad uno scenario reale ma limitatamente al tipo e alle tolleranze degli apparecchi di illuminazione;

Nel caso di verifiche dell'inquinamento luminoso di impianti di illuminazione le tolleranze di installazione più significative sono:

- inclinazione degli apparecchi di illuminazione rispetto al piano orizzontale;
- inclinazione degli apparecchi rispetto al piano verticale $C=0^\circ$ - $C=180^\circ$;
- inclinazione degli apparecchi rispetto al piano verticale $C=90^\circ$ - $C=270^\circ$;
- posizione e interdistanza degli apparecchi di illuminazione;
- flusso luminoso e ripartizione dell'intensità luminosa degli apparecchi.

3. la **verifica fotometrica** sul campo comprende il calcolo delle misure

fotometriche, illuminamento e luminanza, e dei parametri spettro-colorimetrici.

4. la **caratterizzazione dell'impianto** prevede le misurazioni atte a quantificare le grandezze introdotte dalla presente norma per quantificare il livello di flusso luminoso disperso verso l'alto.

Per lo svolgimento delle verifiche la strumentazione adottata deve rispettare dei requisiti:

- la strumentazione deve essere tarata e il certificato di taratura deve essere in corso di validità alla data delle misurazioni;
- le caratteristiche metrologiche degli strumenti devono essere idonee allo scopo delle misurazioni;
- le prestazioni metrologiche degli strumenti devono essere valutate per le specifiche condizioni di applicazione;
- gli strumenti usati per le misurazioni devono essere conformi alla CIE S023/E:2013 quindi la taratura e le caratteristiche fotometriche del rivelatore devono essere corrette tenendo conto delle condizioni di temperatura dell'ambiente, dell'umidità durante le misurazioni e degli spettri di emissione nella regione del visibile degli apparecchi di illuminazione.

Per le linee guida relative all'esecuzione delle misurazioni in campo la norma fa riferimento alla norma UNI EN 13201-4:2016.

4.3.2 Leggi regionali per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso

In Italia, la maggior parte delle regioni ha emanato, a partire dalla fine degli anni 90', delle leggi regionali per il contenimento dell'inquinamento luminoso.

Il Veneto, nel 1997, emana la prima legge regionale italiana contro l'inquinamento luminoso, successivamente abrogata e sostituita con la L.R. n° 17 del 07/08/2009.¹¹⁰

La legge regionale della Lombardia n° 17 del 2000 ha rivestito un ruolo di fondamentale importanza poiché ha introdotto il limite per il valore delle emissioni dirette verso l'alto, preso di riferimento successivamente anche da altre regioni, di 0,49 cd/klm a 90°.¹¹¹

L'elenco completo delle leggi associate alle diverse regioni viene riportato in seguito:¹¹²

- Valle D'Aosta: L.R. n° 17 del 28 aprile 1998
- Lombardia: L.R. n° 17 del 27/03/2000
- Lazio: L.R. n° 23 del 13/04/2000
- Basilicata: L.R. n° 14 del 10/04/2000
- Piemonte: L.R. n° 31 del 24/03/2000 (modificata con L.R. n°3 del 09

110 ISPRA, L'illuminazione nelle aree urbane, Santorico D. (a cura di), Roma, 2011, pag. 21

111 ISPRA, L'illuminazione nelle aree urbane, Santorico D. (a cura di), Roma, 2011, pag. 24

112 ISPRA, L'illuminazione nelle aree urbane, Santorico D. (a cura di), Roma, 2011, pag. 23-24

febbraio 2018)

- Marche: L.R. n° 10 del 24/07/2002
- Campania: L.R. n° 12 del 25/07/2002
- Emilia Romagna: L.R. n°19 del 29/09/2003
- Umbria: L.R. n° 20 del 28/02/2005
- Toscana: L.R. n° 37 del 21/03/2000
- Sardegna: L.R. n° 2 del 29/05/2007
- Puglia: L.R. n° 15 del 23/11/2005
- Abruzzo: L.R. n°12 del 03/03/2005
- Liguria: L.R. n° 22 del 29/05/07
- Friuli Venezia Giulia: L.R. n° 15 del 18/06/07
- Provincia Autonoma di Trento: L.R. n° 16 del 3/10/2007
- Veneto: L.R. n° 17 del 07/08/2009
- Molise: L.R n° 2 del 22/01/2010

La Regione Piemonte ha approvato la Legge regionale n.3 del 09 febbraio 2018 come modifica alla Legge regionale del 24 marzo 2000, n°31 riguardo le "Disposizioni per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche".

Le finalità, indicate nell'Art.1, che la Legge regionale intende perseguire sono molteplici:

1. **ridurre l'inquinamento luminoso** dovuto agli impianti di illuminazione pubblica riducendo i consumi energetici e migliorando l'efficienza luminosa degli apparecchi;
2. **tutelare** le specie animali e vegetali salvaguardando i loro equilibri naturali e i loro habitat, in particolare le aree naturali protette come i siti della rete Natura 2000;
3. **contrastare** i fenomeni di abbagliamento per non compromettere le capacità visive degli utenti della strada e garantire maggiore sicurezza;
4. **ridurre gli effetti** dello Skyglow per tutelare gli osservatori astronomici e le zone circostanti;
5. **migliorare la fruizione** della città, dei beni architettonici e ambientali proteggendo la qualità del paesaggio notturno.

Come supporto per la progettazione di nuovi impianti o la verifica e la sostituzione di apparecchi esistenti, all'interno dell'Allegato A della Legge regionale, vengono specificati i requisiti minimi da rispettare per limitare gli effetti dell'inquinamento luminoso:

- per angoli $\gamma \geq 90^\circ$, il valore dell'intensità luminosa massima deve essere compreso tra **0-0.49 cd/klm**;
- le sorgenti luminose devono essere caratterizzate da un'efficienza luminosa **>90 lm/W** e temperatura di colore **$\leq 3500K$** ;

- i nuovi impianti di illuminazione di percorsi pedonali ciclabili e strade per veicoli motorizzati devono essere posizionati in modo tale che il rapporto di interdistanza e altezza delle sorgenti sia **>3.7**. Questo parametro può variare in relazione alla categoria illuminotecnica e nel caso in cui vengano utilizzate lampade con potenza minore;
 - gli apparecchi devono rispettare gli indici parametrizzati di efficienza dell'apparecchio illuminante **IPEA** e di efficienza dell'impianto di illuminazione **IPEI**, come riportato dai criteri minimi ambientali CAM;
 - devono essere previsti sistemi per la riduzione e il **controllo del flusso luminoso** (in misura uguale o superiore al 30% rispetto alla piena operatività), sistemi per l'accensione e lo spegnimento in caso di assenza di utenti o la regolazione tramite sensori di movimento;
- Inoltre deve essere evitata la dispersione di flusso verso la volta celeste e nei siti di riproduzione, rifugio e foraggiamento delle specie animali.

4.3.3 Piano Regolatore per l'illuminazione comunale (PRIC)

Come ulteriore strumento di gestione dell'illuminazione pubblica la legge regionale n°3/2018 introduce l'adozione, per i comuni con una popolazione superiore ai 300.000 abitanti, di un Piano regolatore per l'illuminazione comunale (PRIC) adatto alle specifiche esigenze del territorio, con l'obiettivo di stabilire "requisiti, vincoli e prescrizioni riguardanti i caratteri illuminotecnici e formali per i progetti degli impianti di illuminazione".¹¹³

Il Piano Regolatore per l'illuminazione comunale della città di Torino, a partire dalle indicazioni della norma UNI 10819 e la L.R. n.31/2000, classifica il territorio regionale in tre zone in base alla sensibilità nei confronti dell'inquinamento luminoso e la necessità di un maggiore controllo delle dispersioni luminose.

ZONA 1	Zona altamente protetta ad illuminazione limitata (per esempio: osservatori astronomici o astrofisici di rilevanza internazionale). Raggio dal centro di osservazione $r = 5$ km. Siti Natura 2000 (estensione reale)
ZONA 2	Zona protetta intorno alla Zona 1 o intorno ad osservatori ad uso pubblico. Raggio dal centro di osservazione $r = 5$ km e 10 km, in funzione dell'importanza del centro. Aree Naturali Protette (estensione reale)
ZONA 3	Zona intorno ad osservatori a carattere privato. Territorio non classificato in Zona 1 e 2

113 Città di Torino, Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale-PRIC, 2011, pag. 1

Tabella 12. Inquinamento luminoso - Zone di rispetto della Regione Piemonte

In base a questa classificazione e le 5 tipologie di impianti vengono imposti dei valori massimi per il parametro R_n con l'obiettivo di limitare il flusso luminoso emesso verso l'alto.

TIPO A	Impianti dove la sicurezza è a carattere prioritario, per esempio illuminazione pubblica di strade, aree a verde pubblico, aree a rischio, grandi aree
TIPO B	Impianti sportivi, impianti di centri commerciali e ricreativi, impianti di giardini e parchi privati
TIPO C	Impianti di interesse ambientale e monumentale
TIPO D	Impianti pubblicitari realizzati con apparecchi di illuminazione
TIPO E	Impianti a carattere temporaneo ed ornamentale, quali per esempio le luminarie natalizie

Tabella 13.
Inquinamento luminoso –
Classificazione degli impianti
secondo la UNI 10819

114 Città di Torino, Piano
Regolatore dell'Illuminazione
Comunale-PRIC, 2011, pag. 27

Per le tipologie di impianti A e B che comprendono impianti per illuminazione pubblica stradale, per aree verdi e impianti sportivi, all'interno delle quali vengono considerate anche le zone di traffico misto in prevalenza pedonale e ciclabile, in contesto urbano, il limite massimo del rapporto medio di emissione superiore è pari al 5%. Nel caso impianti di illuminazione all'interno di aree protette, R_n massimo previsto si riduce all'**1%**.¹¹⁴

4.3.4 Technical Report CIE 150:2017

Il tema della luce elettrica in relazione alle conseguenze sull'ambiente circostante viene trattato anche all'interno del rapporto tecnico CIE 150:2017 "Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations".

La Commission Internationale de l'Eclairage è un'organizzazione senza scopo di lucro che promuove lo scambio di conoscenza tra i paesi riguardo i temi della scienza, della tecnologia, della luce e dell'illuminazione. Uno dei suoi obiettivi principali è quello di fornire indicazioni ai paesi per lo sviluppo di standard e procedure legati ai settori della luce.¹¹⁵

In particolare, il report CIE 150:2017 imposta le linee guida e i parametri prestazionali, che devono essere rispettati nel caso di una nuova progettazione o per la valutazione di impianti esistenti, volti a limitare gli effetti della luce elettrica.

I parametri maggiormente impattanti vengono organizzati tenendo in considerazione il livello di luminosità dell'area in analisi, la tipologia di illuminazione, l'attività svolta e gli orari in cui l'illuminazione è necessaria. La norma propone la classificazione delle zone ambientali in 5 categorie, riportate nella tabella 14, che si differenziano in base alla loro luminosità, a partire dalle riserve e parchi naturali che necessitano della presenza di aree buie protette, fino alla categoria E4 che corrisponde alla città caratterizzata dalla presenza di maggiori fonti luminose diffuse.

115 <https://cie.co.at/about-cie-0/cie-s-objectives>

ZONA	ILLUMINAZIONE DELL'AMBIENTE	Esempi
E0	Completamente buio	Riserve naturali, Parchi Dark Sky IDA, osservatori astronomici
E1	Buio	Aree rurali relativamente disabitate
E2	Luminosità bassa	Aree rurali scarsamente abitate
E3	Luminosità media	Insedimenti rurali e urbani ben abitati
E4	Luminosità alta	Centri urbani e aree commerciali

Tabella 14.
Classificazione delle zone
ambientali, da Technical Report
CIE 150:2017

Successivamente vengono proposti dei parametri per limitare gli effetti sugli utenti della strada, la **luminanza velata** L_v e l'**incremento di soglia** T_I . I relativi valori massimi da rispettare sono definiti in base ad una classificazione delle strade riportata nel report CIE 115:2010, in modo analogo a quanto definito dalla norma UNI EN 13201-2.

Le classi M riportate fanno riferimento a strade dedicate ai veicoli motorizzati mentre non vengono fornite all'interno di questo report linee guida specifiche per i percorsi ciclabili.

PARAMETRO	CLASSIFICAZIONE DELLA STRADA			
	Nessuna illuminazione prevista	M6/M5	M4/M3	M2/M1
Luminanza velata ² (L _v)	0,037 cd/m ²	0,23 cd/m ²	0,40 cd/m ²	0,84 cd/m ²
Incremento di soglia	15 % basato sulla luminanza di adattamento 0,1 cd/m ²	15 % basato sulla luminanza di adattamento 1 cd/m ²	15 % basato sulla luminanza di adattamento 2 cd/m ²	15 % basato sulla luminanza di adattamento 5 cd/m ²

Tabella 15. Valori massimi di incremento di soglia e luminanza velata, da Technical Report CIE 150:2017

Per quanto riguarda, invece, gli effetti sull'ambiente naturale i parametri più critici da considerare sono l'Upward light ratio (ULR), la componente luminosa diretta verso l'alto, e l'Upward flux ratio (UFR), che prendere in considerazione anche le componenti dirette e riflesse verso l'alto del flusso luminoso.

L'inquinamento luminoso e lo Sky glow aumentano in modo proporzionale rispetto all'UFR, che assume un valore pari ad 1 solamente in uno scenario ideale. Inoltre, poiché la luce emessa verso l'alto è la causa principale dell'inquinamento luminoso della volta celeste, è stato previsto un ulteriore fattore di controllo dell'intensità luminosa per la zona critica compresa tra i 90° e i 110° rispetto al piano orizzontale:

- <0.5 cd (tra i 90°-100°)
- 0 cd (tra 100°-110°)

PARAMETRO	ZONA				
	E0	E1	E2	E3	E4
Upward light ratio (ULR)/ %	0	0	2,5	5	15
Upward flux ratio (UFR)/ % (per le strade)	n/a	2	5	8	12

Tabella 16. Valori massimi di ULR e UFR, da Technical Report CIE 150:2017

Oltre alle definizioni dei valori limiti attraverso i quali è possibile verificare se un impianto di illuminazione sia stato progettato in modo sostenibile nei confronti dell'ambiente, il protocollo CIE raccomanda le procedure di calcolo dei parametri.

L'**Upward light ratio** (ULR) viene calcolato come il rapporto tra la porzione di flusso emesso verso l'alto (ULOR) e l'emissione luminosa totale (LOR).

$$R_{UL} = \frac{R_{ULO}}{R_{LO}}$$

Upward flux ratio (UFR) dipende da:

- La geometria e gli angoli di montaggio degli apparecchi
- Porzione di flusso emesso sopra il piano orizzontale passante per l'apparecchio di illuminazione per un angolo α di inclinazione, $ULOR_{\alpha}$;
- Porzione di flusso emesso sotto il piano orizzontale passante per l'apparecchio di illuminazione per un angolo α di inclinazione, $DLOR_{\alpha}$;
- Fattore di utilizzazione dell'impianto in relazione alla superficie da illuminare, u ;
- La riflettanza della superficie da illuminare, ρ_1 ;
- La riflettanza della delle superfici circostanti, ρ_2 ;
- L'illuminamento medio mantenuto, E_m ;
- L'illuminamento iniziale medio dell'impianto effettivamente progettato, E_i .

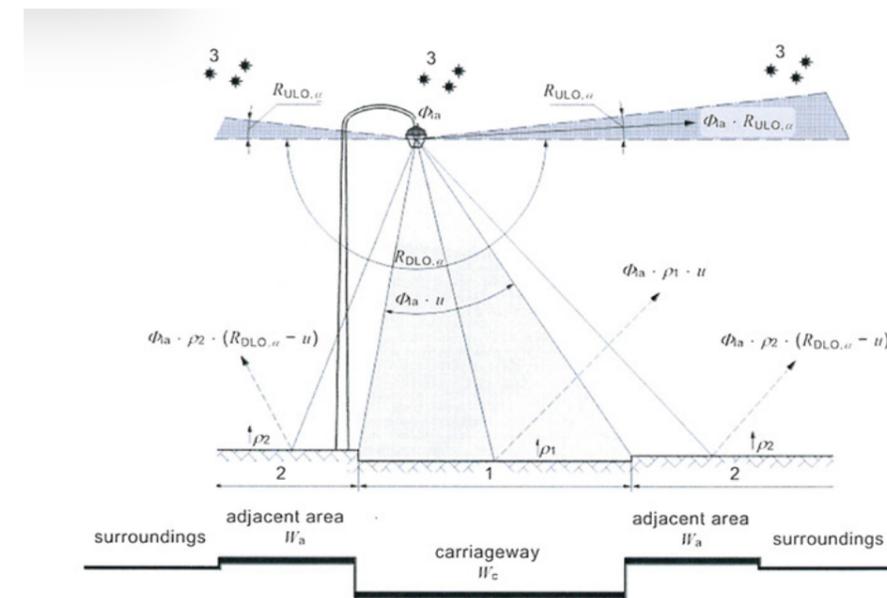


Fig. 4 Parametri per il controllo dell'UFR per l'illuminazione stradale, da Technical Report CIE 150:2017, pag.27

Il valore di UFR viene calcolato tramite la formula:

$$R_{UF} = \frac{E_i}{E_m} \left[1 + \frac{R_{ULO,a}}{\rho_1 \cdot u} + \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{R_{DLO,a}^{-u}}{u} \right) \right]$$

Nel caso dell'illuminazione stradale il calcolo di UFR deve essere esteso anche alle aree circostanti la carreggiata che ricevono parte della luce. La formula di UFR' prende in considerazione un nuovo fattore di utilizzazione u' , l'ampiezza della carreggiata W_c e l'ampiezza delle aree adiacenti ad essa W_a :

$$R'_{UF} = \frac{\rho_1 \cdot W_c}{\rho_1 \cdot W_c + \rho_2 \cdot W_a} \cdot R_{UF}$$

In presenza di abbagliamento la visibilità del conducente è ridotta poiché percepisce la presenza di una luce diffusa nel proprio campo visivo che prende il nome di **luminanza velata**.

Per il calcolo della luminanza velata sui pedoni devono essere rispettate due condizioni:

- L'altezza della visuale del soggetto deve essere considerata pari a 1,5m;
- Il livello della visione del soggetto deve essere considerato parallelo alla strada e inclinato di 1° verso il basso rispetto al piano della strada.

La formula per il calcolo di L_v è la seguente:

$$L_v = k \sum_{i=1}^n \frac{E_{eye,i}}{\theta_i^2}$$

Dove:

- L_v è l'illuminamento a livello dell'occhio dell'osservatore proveniente da una lampada posta sul piano normale alla direzione di visione [lx];

- θ è l'angolo compreso tra la direzione della visione e il centro dell'apparecchio di illuminazione;

- n è il numero di apparecchi considerati;

- k è un valore che dipende dall'età dell'osservatore (convenzionalmente pari a 10 per un osservatore di 23 anni).

4.3.5 Criteri Ambientali Minimi (CAM)

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) costituiscono uno strumento per le amministrazioni pubbliche che intendono favorire uno sviluppo sostenibile e ridurre gli impatti ambientali.

I CAM propongono i requisiti ambientali da seguire per orientare le fasi progettuali, come l'acquisto, l'applicazione, la gestione e il fine vita dei prodotti, all'interno dell'ottica dell'energia circolare, che garantisca la soluzione meno impattante dal punto di vista ambientale ed energetico. A partire dal Decreto del Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, supportato dal Ministro delle Imprese, dell'Economia, delle Finanze e dalla collaborazione con altri enti specifici (CONSIP, ENEA, ISPRA, ARPA), è stato approvato il "Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della pubblica amministrazione", la cui versione più aggiornata risale al 3 agosto 2023.

Il Piano d'azione specifica gli obiettivi nazionali e gli ambiti sui quali vengono definiti i CAM, la cui applicazione è resa obbligatoria in Italia dall'art.18 della L. 221/2015 e, successivamente, dall'art. 34 riguardo i "Criteri di sostenibilità energetica e ambientale" del "Codice degli appalti" (D.Lgs. 50/2016).¹¹⁶

I criteri minimi ambientali adottati nell'ambito dell'illuminazione pubblica sono costituiti da due documenti. Il primo, "Acquisizione di sorgenti luminose per illuminazione pubblica, l'acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica", adottato con il D.M. 27 settembre 2017, è relativo alla fornitura e la progettazione degli impianti, il secondo, riguardante il "Servizio di illuminazione pubblica", è stato adottato con il D.M. 28 Marzo 2018.

I CAM entrati in vigore nel settembre 2017 definiscono i criteri ambientali minimi da adottare per le sorgenti, gli apparecchi e la progettazione di impianti di illuminazione pubblica, articolando la trattazione di ogni argomento in quattro sezioni:

-requisiti dei candidati: i principi e le responsabilità atti a provare le capacità tecniche degli operatori riguardo l'installazione delle sorgenti luminose, i sistemi di regolazione del flusso luminoso, la conoscenza del funzionamento e delle caratteristiche degli apparecchi;

-specifiche tecniche: i parametri minimi da rispettare per la riduzione degli impatti ambientali;

-clausole contrattuali: criteri di sostenibilità che l'appaltatore si impegna a rispettare durante lo svolgimento del contratto;

-criteri premianti: criteri che definiscono i prodotti più performanti e che vengono valutati con punteggi specifici.

A proposito degli apparecchi di illuminazione, vengono riportate le caratteristiche che devono essere garantite nell'ambito dell'illuminazione delle aree e percorsi pedonali, i percorsi ciclabili e le aree ciclo-pedonali.

I parametri minimi sono i seguenti:

PROPRIETÀ DELL'APPARECCHIO DI ILLUMINAZIONE	VALORI MINIMI
IP vano ottico	IP55
IP vano cablaggi	IP55
Categoria di intensità luminosa	≥ G*2
Resistenza agli urti (vano ottico)	IK07
Resistenza alle sovratensioni	4kV

Inoltre, devono essere calcolati gli indici IPEA* e IPEI* per definire la classificazione energetica degli apparecchio e dell'impianto.

L'indice IPEA* deve risultare maggiore o uguale alla classe B fino all'anno 2025, mentre a partire dal 2026 la classe limite sarà la A.

Per quanto riguarda l'indice IPEI*, fino al 2025 saranno consentiti i valori fino alla classe A e a partire dall'anno 2026 alla classe A+.

Tabella 17. Caratteristiche degli apparecchi per l'illuminazione di aree pedonali, percorsi pedonali, percorsi ciclabili, aree ciclo-pedonali, da CAM per "l'acquisizione di sorgenti luminose per l'illuminazione pubblica, l'acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica", 2017

116 <https://gpp.mase.gov.it/Cosa-sono-i-CAM>

INTERVALLI DI CLASSIFICAZIONE ENERGETICA	
Classe energetica degli apparecchi illuminati	IPEA*
An+	$IPEA^* \geq 1,10 + (0,10 \times n)$
A++	$1,30 \leq IPEA^* < 1,40$
A+	$1,20 \leq IPEA^* < 1,30$
A	$1,10 \leq IPEA^* < 1,20$
B	$1,00 \leq IPEA^* < 1,10$
C	$0,85 \leq IPEA^* < 1,00$
D	$0,7 \leq IPEA^* < 0,85$
E	$0,55 \leq IPEA^* < 0,70$
F	$0,40 \leq IPEA^* < 0,55$
G	$IPEA^* < 0,4$

Tabella 18. Intervalli di classificazione energetica IPEA, da CAM per "l'acquisizione di sorgenti luminose per l'illuminazione pubblica, l'acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica", 2017

L'indice IPEA* è definito come rapporto tra l'efficienza globale dell'apparecchio di illuminazione η_a e l'efficienza globale di riferimento η_r .

Il calcolo di η_a dipende da:

$$\eta_a = \frac{\phi_{app} \cdot D_{ff}}{P_{app}} \text{ [lm/W]}$$

- Il flusso luminoso iniziale misura l'apparecchio, ϕ_{app} ;
 - la potenza attiva totale assorbita dall'apparecchio di illuminazione, P_{app} ;
 - la frazione del flusso emesso verso il basso (sotto all'angolo di 90°), D_{ff} .
- I valori dell'efficienza globale di riferimento possono essere ricavati dalle tabelle specifiche per ogni ambito di interesse in base alla potenza nominale dell'apparecchio. Per i percorsi ciclabili la tabella è la seguente:

ILLUMINAZIONE DI AREE PEDONALI, PERCORSI PEDONALI, PERCORSI CICLABILI, AREE CICLO-PEDONALI	
POTENZA NOMINALE DELL'APPARECCHIO P[W]	EFFICIENZA GLOBALE DI RIFERIMENTO η_r [lm/W]
$P \leq 65$	75
$65 < P \leq 85$	80
$85 < P \leq 115$	85
$115 < P \leq 175$	88
$175 < P \leq 285$	90
$285 < P \leq 450$	92
$450 < P$	92

Tabella 19. Valori di efficienza globale di riferimento, da CAM per "l'acquisizione di sorgenti luminose per l'illuminazione pubblica, l'acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica", 2017

La procedura per il calcolo dell'indice IPEI* risulta analogo al precedente, ma in questo caso si riportano la densità di potenza di progetto D_p e la densità di potenza di riferimento $D_{p,r}$.

INTERVALLI DI CLASSIFICAZIONE ENERGETICA	
Classe energetica dell'impianto	IPEI*
An+	$IPEI^* < 0,85 + (0,10 \times n)$
A++	$0,55 \leq IPEI^* < 0,65$
A+	$0,65 \leq IPEI^* < 0,75$
A	$0,75 \leq IPEI^* < 0,85$
B	$0,85 \leq IPEI^* < 1,00$
C	$1,00 \leq IPEI^* < 1,35$
D	$1,35 \leq IPEI^* < 1,75$
E	$1,75 \leq IPEI^* < 2,30$
F	$2,30 \leq IPEI^* < 3,00$
G	$IPEI^* \geq 3,00$

Tabella 20. Intervalli di classificazione energetica IPEI, da CAM per "l'acquisizione di sorgenti luminose per l'illuminazione pubblica, l'acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica", 2017

Il calcolo di D_p dipende da:

$$D_p = \frac{\sum P_{app}}{\sum_{i=1}^n \left(E_i \cdot \frac{0,8}{MF_i} \cdot A_i \right)}$$

- la potenza assorbita dagli apparecchi, P_{app} ;
- l'illuminamento orizzontale medio mantenuto di progetto dell'area i-esima (nel rispetto dei valori riportati nella norma UNI 13201-2), E_i ;
- il coefficiente di manutenzione adottato per il calcolo dell'area i-esima, MF_i ;
- area i-esima illuminata, A_i .

I valori di $D_{p,r}$ sono riportati nella tabella seguente:

ILLUMINAZIONE DI AREE PEDONALI O CICLABILI CATEGORIA ILLUMINOTECNICA P (O C)	
CATEGORIA ILLUMINOTECNICA (SECONDO UNI 13201-2)	DENSITÀ DI POTENZA DI RIFERIMENTO [W/LX/M²]
(C0)	0,039
(C1)	0,042
(C2)	0,044
P1 (C3)	0,048
P2 (C4)	0,051
P3 (C5)	0,053
P4	0,056
P5	0,059
P6	0,061
P7	0,064

Tabella 21. Valori di densità di potenza di riferimento, da CAM per "l'acquisizione di sorgenti luminose per l'illuminazione pubblica, l'acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica", 2017

Infine, per limitare gli sprechi energetici e gli effetti della luce sull'illuminamento luminoso della volta celeste i CAM introducono la categoria di illuminazione zenitale U.

Ad ogni zona, caratterizzata da un livello luminoso differente, corrisponde una categoria di illuminazione zenitale il cui limite da rispettare corrisponde al valore più alto tra UL, l'angolo compreso tra i 90° e 100° rispetto all'orizzontale in cui le emissioni contribuiscono maggiormente all'inquinamento luminoso, e UH, l'angolo solido compreso 100° e 180°

rispetto all'orizzontale.

Tabella 22.

Categorie di illuminazione zenitale U, da CAM per "l'acquisizione di sorgenti luminose per l'illuminazione pubblica, l'acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica", 2017

	Illuminazione di aree pedonali, percorsi ciclabili, aree ciclo-pedonali e aree verdi			
	Zone di protezione LZ1	Zone a basso contributo luminoso LZ2	Zone mediamente urbanizzate LZ3	Zone densamente urbanizzate LZ4
	U1 [lm]	U2 [lm]	U3 [lm]	U4 [lm]
UH	≤ 40	≤ 120	≤ 200	≤ 300
UL	≤ 40	≤ 100	≤ 150	≤ 200

I CAM adottati con il D.M. 28 Marzo 2018 relativi al servizio di illuminazione pubblica costituiscono una linea guida per la gestione, la manutenzione e il controllo periodico degli impianti di illuminazione, inoltre specificano i parametri più significativi per la definizione di un progetto definitivo ed esecutivo relativo alla riqualificazione degli impianti.

All'interno del documento vengono considerati interventi di riqualificazione le modifiche, le sostituzioni, la rimozione dell'impianto di illuminazione pubblica o di una parte di esso, che si basano su fattori tecnici/economici ma, in particolare, devono essere valutati in base alla qualità e allo stato di fatto dell'impianto in modo tale da garantire un intervento migliorativo più efficiente.

Per guidare la amministrazioni, i CAM propongono una metodologia per la progettazione sostenibile dal punto di vista ambientale ed economico, che si articola in diversi livelli di intervento dipendenti fra loro ma che alla base condividono la necessità di svolgere un censimento dell'impianto. Ad ogni livello sono associati una scheda e dei parametri che vengono considerati per elaborare una valutazione.

Gli ambiti di intervento comprendono:

• **Censimento dell'impianto:**

-L'analisi dello stato di fatto necessaria per elaborare un quadro completo rispetto alle componenti dell'impianto e le loro condizioni.

-La SCHEDA 1 contiene informazioni riguardanti la tipologia di sorgente luminosa, la tipologia di apparecchio, lo stato dell'impianto elettrico, il numero di sostegni, l'energia assorbita e i costi annui.

-La SCHEDA 2 riporta informazioni relative ai quadri e le linee di alimentazione, i punti luce e gli ambiti illuminati.

• **Conformità normativa:** l'analisi dell'impianto necessaria per assicurarsi che l'impianto segua la legge e la normativa vigenti. (SCHEDA 4)

• **Riqualificazione energetica:** interventi di miglioramento energetico e ambientale elaborati in base alle indicazioni del D.M. 27 settembre 2017 "Criteri Ambientali Minimi per l'acquisizione di sorgenti luminose per illuminazione pubblica, l'acquisizione di apparecchi per illuminazione

pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica". (SCHEDA 5)

• **Riqualificazione urbana:** interventi per assicurare che il progetto illuminotecnico sia integrato all'interno di pianificazione a livello architettonico e urbano più ampia. (SCHEDA 6)

• **Sistemi intelligenti:** interventi che prevedono l'inserimento di tecnologie per potenziare le funzionalità dell'impianto, per la regolazione del flusso, l'accensione e lo spegnimento. (SCHEDA 7)

• **Gestione:** attività che comprendono la conduzione la manutenzione ordinaria e straordinaria conservativa la verifica periodica dell'impianto di illuminazione pubblica. (SCHEDA 8)

Al termine delle valutazioni viene attribuito un punteggio ad ognuna delle fasi, da 0 a 5 e considerando 3 come valore sufficiente, che permette di definire lo stato dell'impianto e i punti critici sui quali è possibile agire e prevedere dei miglioramenti.

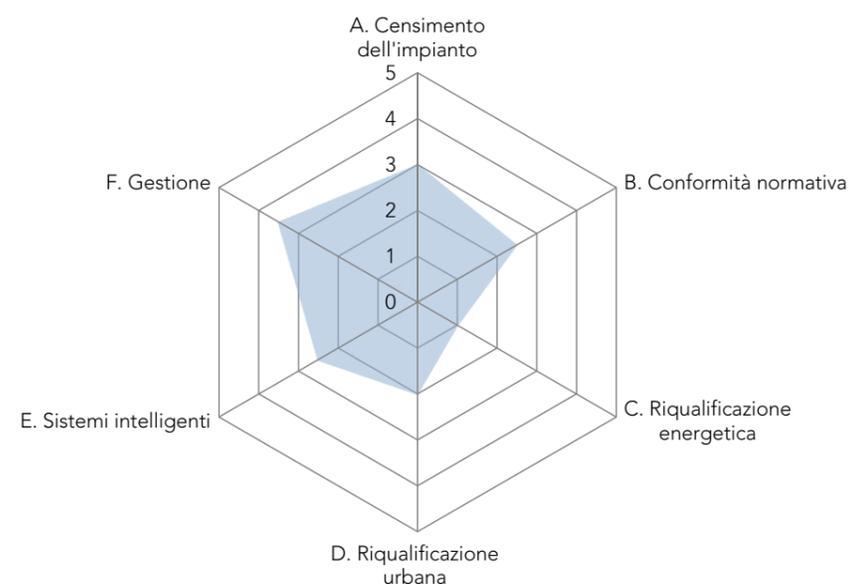


Fig. 5 Diagramma di Kiviat per gli indici prestazionali, da Criteri ambientali minimi (CAM) per il "Servizio di illuminazione pubblica", 2018, pag. 43

5. Il caso studio: la rete delle piste ciclabili a Torino

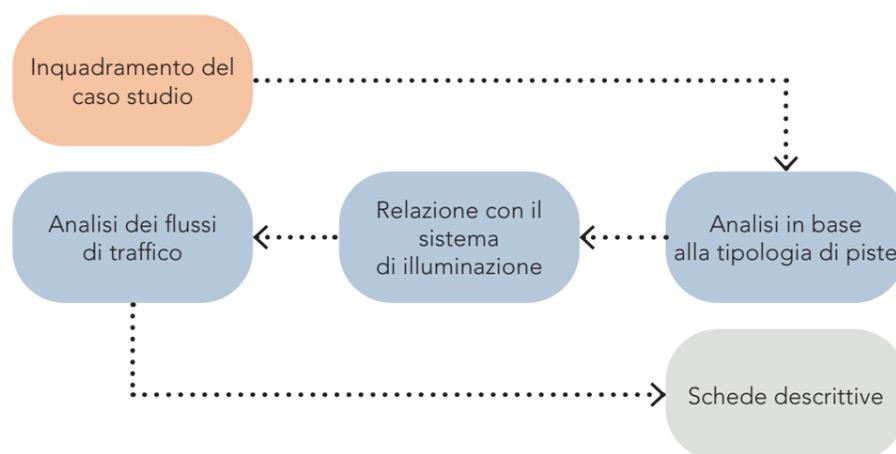
5.1 Premessa

Il tema dell'illuminazione associato alle piste ciclabili, trattato a livello teorico nella prima parte del lavoro di tesi, è oggetto di approfondimento e analisi, all'interno di questo capitolo, attraverso il caso studio della rete ciclabile nella città di Torino.

Il caso studio viene introdotto attraverso la trattazione delle **politiche** e delle **linee guida** adottate per promuovere l'accessibilità e l'utilizzo delle piste ciclabili in continuo sviluppo ed espansione. Un ruolo centrale è rivestito dal Biciplan, il principale documento in materia di piste ciclabili, che fornisce un quadro generale delle infrastrutture, le strategie e la loro evoluzione.

La metodologia adottata all'interno di questo capitolo si basa su una fase di conoscenza più approfondita dell'infrastruttura esistente a partire da uno studio relativo ai flussi di traffico e l'utilizzo delle biciclette in città, una mappatura dei percorsi ciclabili in base alla tipologia e la loro relazione con i sistemi di illuminazione.

L'obiettivo di questa fase è l'identificazione di **categorie di piste ciclabili** rappresentative e la stesura di **schede descrittive** per ogni caso. Attraverso la definizione di queste schede tipologiche è stato possibile delineare un quadro completo e sistematico riguardo i sistemi di illuminazione e la loro relazione con le piste ciclabili della città di Torino. Questo capitolo di analisi conoscitiva del caso studio è necessario per porre le basi per la fase sperimentale e di analisi dei dati ricavati dalle misurazioni attraverso il confronto con i parametri definiti da normativa e quelli estrapolati dalla lettura dei testi scientifici.



5.2 Mobilità lenta a Torino: politiche per incentivare l'uso dei percorsi ciclabili

All'interno del panorama italiano, Torino rappresenta un **esempio virtuoso** di città orientata alla mobilità lenta che promuove l'uso della bicicletta come alternativa sostenibile all'uso dei mezzi privati.

L'uso della bicicletta comporta benefici sulla società e sull'ambiente che ci circonda. Le città sono meno congestionate dal traffico, si riduce l'inquinamento atmosferico e la qualità dell'aria è migliore.

Questi vantaggi sono resi possibili dalla presenza di un'adeguata rete infrastrutturale ciclabile e dall'applicazione di politiche volte a migliorare l'accessibilità ai servizi, garantire la loro manutenzione, la sicurezza e promuoverne l'utilizzo.

I primi percorsi ciclabili sono stati realizzati a Torino a partire dagli anni 80' e complessivamente erano costituiti da 32 km situati prevalentemente all'interno di parchi e lungo le sponde del Po.¹¹⁷

L'intenzione era quella di favorire l'attività fisica all'aperto e le attività di svago durante il tempo libero. Negli anni questo sistema ha continuato ad espandersi e ad oggi comprende circa 230 km di piste situati sia in aree verdi e parchi articolate all'interno del tessuto urbano favorendo gli spostamenti dentro la città, dalla casa alla scuola e verso i luoghi di lavoro.

La città di Torino, nel rispetto delle direttive del D.M. 28 agosto 2019, n.396, nel 2022 ha redatto il **Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS)**: "uno strumento di pianificazione strategica che, in un orizzonte temporale di medio-lungo periodo (10 anni), sviluppa una visione di sistema della mobilità urbana (...) proponendo il raggiungimento di obiettivi di sostenibilità ambientale, sociale ed economica attraverso la definizione di azioni orientate a migliorare l'efficacia e l'efficienza del sistema della mobilità e la sua integrazione con l'assetto e gli sviluppi urbanistici e territoriali".¹¹⁸

Le linee guida generali del PUMS sono rivolte al traffico veicolare, al trasporto pubblico e quello ciclopedonale promuovendo un approccio alla pianificazione della mobilità urbana che mira alla salvaguardia dell'ambiente e alle esigenze degli utenti, garantendo accessibilità e qualità della vita in un quadro di sostenibilità economica sociale e ambientale.

I macro-obiettivi del Piano si articolano in quattro aree di interesse:¹¹⁹

- Efficacia ed efficienza del sistema della mobilità;
- Sostenibilità energetica ed ambientale;
- Sicurezza della mobilità stradale;
- Sostenibilità socio – economica.

117 Città di Torino, Piano della mobilità ciclabile (BICIPLAN), 2013, pag. 11

118 Città metropolitana di Torino, PUMS. Piano Urbano della Mobilità Sostenibile, 2022, pag. 6

119 Città metropolitana di Torino, PUMS. Piano Urbano della Mobilità Sostenibile, 2022, pag. 6

Attraverso l'espansione dei tracciati ciclistici, la riprogettazione degli spazi stradali, la creazione di nodi di interscambio che favoriscano l'integrazione tra la bicicletta e il trasporto pubblico e l'implementazione di azioni di promozione e sensibilizzazione, la mobilità lenta offre molteplici opportunità di sviluppo al centro di numerose azioni specifiche proposte dal Piano. La prima azione prevede la riorganizzazione dello **spazio stradale nelle vicinanze delle scuole** attraverso l'imposizione di limiti di velocità pari a 30 km/h, la delimitazione delle aree pedonali e la messa in sicurezza delle piste per la tutela degli utenti e incentivare l'uso della mobilità attiva, a piedi e in bicicletta, per raggiungere le scuole.¹²⁰



120 Città metropolitana di Torino, PUMS. Piano Urbano della Mobilità Sostenibile, 2022, pag. 245

Fig.1 Riorganizzazione dello spazio stradale nelle vicinanze delle scuole da Città metropolitana di Torino, PUMS. Piano Urbano della Mobilità Sostenibile, 2022

Un'altra azione prevede la realizzazione di **"zone 30"** all'interno della città di Torino e nei comuni della cintura. In queste aree, che solitamente corrispondono ai controviali, è previsto il limite di velocità di 30 km/h per permettere la condivisione della carreggiata con veicoli e biciclette.¹²¹ Con l'obiettivo di implementare i collegamenti tra la città di Torino e i comuni limitrofi si prevede l'implementazione delle **"reti superciclabili Torino-cintura"**. Questa rete, denominata Servizio Ciclabile Metropolitano, si articola in 7 linee radiali e 3 direttrici circolari estese per circa 204 km.

121 Città metropolitana di Torino, PUMS. Piano Urbano della Mobilità Sostenibile, 2022, pag. 246

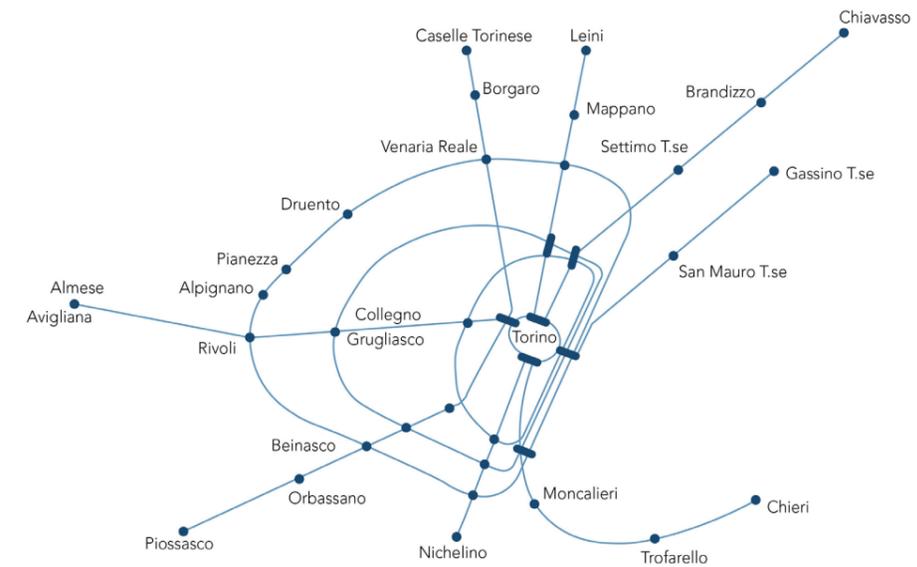


Fig. 2 Reti superciclabili Torino-cintura elaborazione personale da Città metropolitana di Torino, PUMS. Piano Urbano della Mobilità Sostenibile, 2022

Inoltre il Piano mira ad implementare i percorsi ciclabili extraurbani a livello regionale fino al raggiungimento di un'estensione di circa 630 km, di cui 200 km corrispondono agli itinerari esistenti Bicalta e Eurovelo.¹²² Questi interventi hanno l'obiettivo di favorire gli spostamenti nel tempo libero e supportare il cicloturismo. Infine, l'ultimo insieme di azioni si concentra sull'accessibilità delle stazioni ferroviarie. Il progetto **"Bike to rail"** prevede l'implementazione dell'infrastruttura ciclabile collegando i centri abitati, le scuole e i principali luoghi di interesse alle stazioni ferroviarie. Per ogni stazione si prevede l'inserimento di zone di sosta per la bicicletta con rastrelliere e bike box, stazioni di ricarica e servizi per il noleggio e la manutenzione delle biciclette in modo da rendere la mobilità intermodale più accessibile ed efficiente.¹²³

122 Città metropolitana di Torino, PUMS. Piano Urbano della Mobilità Sostenibile, 2022, pag. 247

123 Città metropolitana di Torino, PUMS. Piano Urbano della Mobilità Sostenibile, 2022, pag. 247

5.2.1 Piano della mobilità ciclabile (Biciplan)

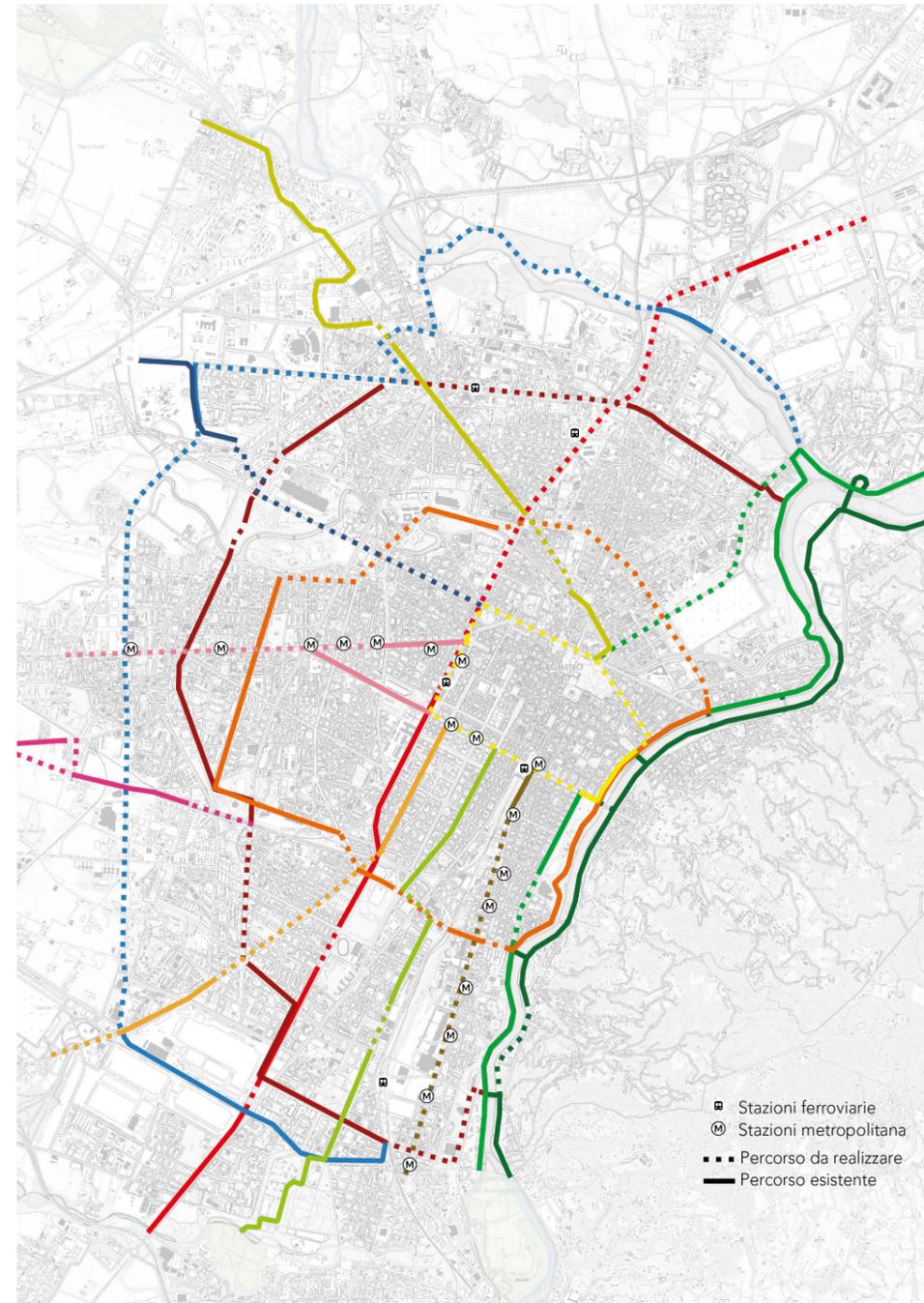
Il Biciplan, Piano strategico della mobilità ciclistica, è un piano di settore redatto a partire dalle linee guida riportate all'interno del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS). L'obiettivo del Biciplan è quello di definire le politiche a favore dell'utilizzo della bicicletta come mezzo principale per gli spostamenti quotidiani in modo tale che l'uso della bicicletta passi dal 3% al 15% entro 10 anni da l'adozione del piano nel 2013.¹²⁴ Questo risultato può essere raggiunto soltanto in presenza di un'infrastruttura ciclabile sufficientemente sviluppata ed estesa, che sia in grado di ospitare un numero maggiore di utenti. Per questa ragione, all'interno del Biciplan, ampio spazio è dedicato alla classificazione dei percorsi esistenti e alla definizione di un possibile scenario di espansione.

124 Città di Torino, Piano della mobilità ciclabile (BICIPLAN), 2013, pag. 5

La **"Rete Ciclabile Strategica"** è composta da un sistema di primo livello, che comprende **10 direttrici e 4 circolari**, sfruttato per gli spostamenti

sistematici tra casa-scuola-lavoro. Questi percorsi costituiscono dei collegamenti dal centro alla periferia, ai principali poli di interesse e le stazioni del trasporto pubblico.

A partire dalle direttrici e le circolari si articolano dei percorsi più fitti chiamati **"reti di distribuzione"** che permettono gli spostamenti all'interno della città.¹²⁵



125 Città di Torino, Piano della mobilità ciclabile (BICIPLAN), 2013, pag. 57

Fig. 3 Classificazione dei percorsi ciclabili in direttrici e circolari, elaborazione personale da Città di Torino, Piano della mobilità ciclabile (BICIPLAN), 2013

	Direzione	Tracciato	Percorsi esistenti [m]	Percorsi da realizzare [m]	Lunghezza totale [m]
Direttrice 1a	Centro-nord	Piazza Statuto-Settimo	1,075	6,725	7,800
Direttrice 1b	Centro-sud	Piazza Statuto-Stupinigi	7,600	1,000	8,600

Tabella 1. Classificazione del sistema ciclabile secondo il Biciplan nel 2013

Direttrice 2a	Centro-nord/est	Piazza Vittorio- Barca Bertolla (confine comune San Mauro Tor.se)	8,315	150	8,465
Direttrice 2a1	Centro-nord/est	Giardini Reali-ponte Amedeo VIII (piazza Damiano Chiesa)	250	3,650	3,900
Direttrice 2b	Centro-sud/est	Piazza Vittorio-parco Vallere (Moncalieri - sponda sx del Po)	5,330	670	6,000
Direttrice 2b1	Centro-sud/est	Corso Vittorio Emanuele II-Molinette (corso Massimo D'Azeglio)	1,165	1,045	2,210
Direttrice 3a	Centro-nord/est	Piazza Vittorio-San Mauro Torinese (sponda destra del Po)	7,752	-	7,752
Direttrice 3b	Centro-sud/est	Piazza Vittorio-Moncalieri (sponda destra del Po)	6,805	-	6,805
Direttrice 4	Centro-sud/est	Corso Vittorio Emanuele II-piazza Bengasi (Nichelino)	690	4,710	5,400
Direttrice 5	Centro-sud/ovest	Corso Vittorio Emanuele II- parco Colonetti/Sangone	6,975	805	7,780
Direttrice 6	Centro-sud/ovest	Corso Vittorio Emanuele II-Beinasco (confine)	3,380	3,370	6,750
Direttrice 7a	Centro-ovest	Piazza Statuto-Collegno (confine)	975	4,010	4,985
Direttrice 7b	Centro-ovest	Piazza Rivoli – viale della Spina	1,740	-	1,740
Direttrice 8	Centro-nord/ ovest	Corso Regina Margherita-Collegno	2,165	3,895	6,080
Direttrice 9	Centro-nord/ ovest	Giardini Reali-Reggia di Venaria	8,750	1,230	9,935
Direttrice 10	Centro-sud/ovest	Corso Siracusa (Comune di Torino) – Università degli studi di Torino (Comune di Grugliasco)	1,635	2,475	4,110
			2,660	1,820	4,480

Circolare 1	P.za Vittorio - lungo Po Cadorna – c.so S, Maurizio – c.so Regina Margherita – c.so P.Oddone – c.so Inghilterra – c.so Vitt. Emanuele II – c.so Cairoli - lungo Po Diaz	1,730	6,065	7795
Circolare 2	Piazza Vittorio –lungo Po corso Tortona corso Novara corso Vigevano corso Mortara – corso Svizzera – via Lessona - corso Monte Grappa - corso Monte Cucco - corso Rosselli - via Tirreno – via Camogli – corso Bramante - corso Galileo Galilei – parco del Valentino – corso Cairoli – lungo Po Diaz	9,505	9,000	18,505
Circolare 3	Piazza Vittorio –lungo Po – parco Colletta – corso Taranto - via Botticelli - corso Grosseto - via Badini Confalonieri – corso Grosseto - corso Cincinnati - parco Pellerina – E27 - corso Telesio - corso Brunelleschi –Parco Ruffini – corso Trapani – corso Siracusa – corso Cosenza - corso Agnelli – corso Traiano – corso Maroncelli – corso Unità d'Italia - corso Galileo Galilei – parco del Valentino – corso Cairoli – lungo Po Diaz	22,135	7,865	30,000
Circolare 4	Ponte Amedeo VIII – sponda sx Stura – strada dell'aeroporto – via Veronese – via Sansovino – via Badini Confalonieri - Piazza Manno – corso Grosseto – corso Ferrara – viale delle Primule - corso Marche – corso Settembrini – via Onorato Vigliani - corso Caio Plinio	4,987	10,271	15,258

Per assicurare la funzionalità e la coerenza dei percorsi questi ultimi devono essere realizzati nel rispetto di alcuni principi progettuali comuni:¹²⁶

-Non deve essere sottratto **spazio alla pedonalità** inserendo una pista ciclabile;

-Si deve evitare la realizzazione di **percorsi ciclopedonali** densamente utilizzati poiché la promiscuità con i pedoni rallenta la percorribilità del tracciato riducendone l'attrattiva;

-Nel caso di realizzazione di nuove strade o manutenzione straordinaria del sedime stradale deve **essere inserita una corsia** anche per le piste ciclabili;

-Devono essere privilegiate il più possibile le corsie **comprese tra marciapiede e parcheggi** delle auto;

-Devono essere **evitate piste bidirezionali** e corsia al centro delle banchine;

-Devono essere posizionati **elementi di separazione** tra la corsia, il parcheggio delle auto o la carreggiata stradale;

-I tracciati devono essere **continui**, compatibilmente con l'attuale contesto urbano, con collegamenti chiaramente segnalati attraverso piazze, incroci e rotonde;

-Nel caso di cambio di quota tra percorso e la carreggiata o il marciapiede deve essere assicurata la presenza di uno **scivolo** che garantisca un collegamento;

-Gli itinerari ciclabili che si differenziano in più tipologie devono essere opportunamente indicati tramite **adeguata segnaletica**;

-Gli **attraversamenti ciclabili** devono essere separati e posizionati parallelamente a quelli pedonali;

-Devono essere utilizzati dei **materiali lisci**, solidi e privi di interruzioni come pavimentazione della pista;

-I percorsi ciclabili nei parchi e nelle aree verdi compresi nelle direttrici principali devono essere progettati per favorire lo **scorrimento veloce e sicuro**;

-Non devono essere presenti pali, alberi o altri **ostacoli nel mezzo** della carreggiata ciclabile;

-Nel caso in cui la corsia ciclabile attraversi o fiancheggi aree con presenza di pedoni deve essere apposta a intervalli regolari la **segnaletica verticale** adeguatamente visibile;

-Al termine del percorso ciclabile il ciclista non deve proseguire in un tratto contromano, sul marciapiede o su attraversamenti pedonali. Deve essere prevista una soluzione tecnica per favorire il **proseguimento nella corretta direzione**.

Negli ultimi anni, la città di Torino ha portato avanti un costante lavoro

di espansione e miglioramento della propria rete ciclabile, soprattutto in corrispondenza della rete ciclabile di primo livello. **Nel 2013**, Torino disponeva di circa **175 km** di piste ciclabili situate principalmente all'interno dei parchi e lungo alcune strade urbane, mentre **oggi**, tale rete si è ampliata raggiungendo circa **230 km**. Lungo le direttrici nord-sud, uno dei principali interventi ha riguardato il completamento della pista ciclabile di Via Nizza (Direttrice 4). Inoltre, sono stati ampliati i tratti di lungo corso Castelfidardo e Corso Inghilterra. Un ulteriore intervento ha interessato la realizzazione del percorso ciclabile in Corso Principe Oddone e il suo proseguimento su Corso Venezia, creando un asse ciclabile più continuo e sicuro che attraversa tutta la città. Anche lungo Corso Lecce e Corso Trapani sono stati completati nuovi tratti ciclabili che contribuiscono a rafforzare la rete in direzione nord-sud. Per quanto riguarda gli assi est-ovest, è stata implementata maggiormente la circolare C1, lungo i tratti di Corso Regina Margherita e Vittorio Emanuele II. Uno degli interventi più rilevanti è stato realizzato lungo Corso Francia, una delle arterie principali della città. In questo caso, però, lo spazio destinato ai ciclisti è condiviso con i veicoli nei controviali, per i quali è previsto un limite di velocità di 20 km/h, rendendo questa soluzione meno sicura per i ciclisti.



Fig. 4
Confronto tra l'estensione dell'infrastruttura ciclabile nel 2013 e 2024, elaborazione personale

5.3 Classificazione delle piste ciclabili a Torino

5.3.1 Tipologie di piste

All'interno del Biciplan le piste ciclabili vengono definite come "la parte longitudinale della strada riservata alla circolazione dei velocipedi che dovrebbe essere opportunamente delimitata ed individuata rispetto alle altre parti della carreggiata".¹²⁷

In base alla localizzazione della pista rispetto al tracciato stradale e ad altri attributi che li caratterizzano, i percorsi ciclabili vengono classificati in categorie specifiche:

-Piste ciclabili in sede propria

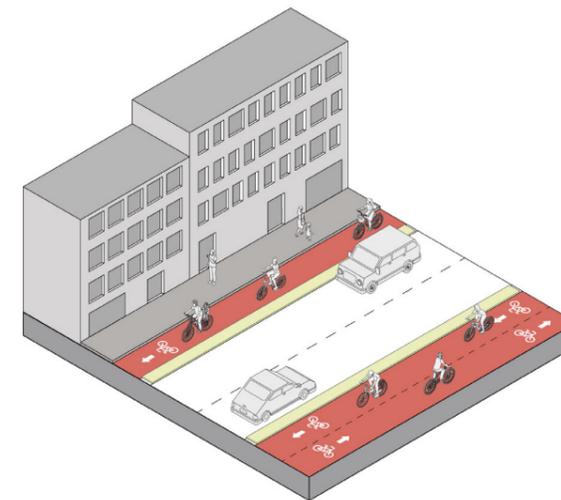
-Piste ciclabili su corsia riservata

-Percorsi promiscui pedonali e ciclabili

-Percorsi promiscui ciclabili e veicolari

-Pista ciclabile in sede propria nel verde

La tipologia più diffusa comprende le **piste in sede propria**. Questi percorsi possono essere ad unico o doppio senso di marcia, con una larghezza variabile tra 1.5 m e 2.5 m. L'elemento che caratterizza le piste in sede propria è rappresentato dalla presenza di uno spartitraffico o di una barriera invalicabile con la corsia dedicata ai veicoli a motore e per i pedoni, rendendola particolarmente efficiente in contesti urbani e zone altamente trafficate per garantire maggiore sicurezza al ciclista.



127 Città di Torino, Piano della mobilità ciclabile (BICIPLAN), 2013, pag.47

Fig. 5
Schema di pista in sede propria, elaborazione personale

Nel caso in cui la pista venga ricavata nello spazio precedentemente adibito ad altri utenti, si parla di piste in **corsia riservata**. Questa può trovarsi sul marciapiede, dal lato adiacente la carreggiata stradale, e può svilupparsi, in base agli spazi disponibili in modo da non entrare in conflitto con la circolazione dei pedoni, a unico o doppio senso di marcia. Oppure la corsia riservata può essere ricavata dalla carreggiata stradale seguendo il senso di marcia della corsia destinata ai veicoli e situata

sulla destra. In un contesto urbano la corsia singola spesso è delimitata solamente a terra da una striscia di delimitazione. Se la pista si sviluppa su due corsie a doppio senso di marcia deve sempre essere protetta.

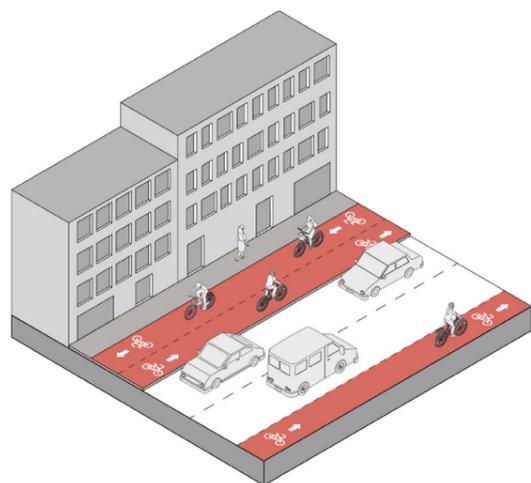


Fig. 6
Schema di pista in corsia riservata, elaborazione personale

I **percorsi interni ai parchi** o sufficientemente isolati dalle strade veicolari possono prevedere l'uso da parte dei ciclisti e dei pedoni. I **percorsi ciclo-pedonali**, poiché ospitano due tipologie di utenti, caratterizzati da esigenze e andature differenti, devono seguire dei requisiti specifici:

- Devono avere dimensioni incrementate rispetto ai minimi normativi, la larghezza minima è di 3 m;
- Non devono presentare attività, servizi o punti di incontro che comportino un aumento del numero dei pedoni;
- Devono essere opportunamente segnalate e riconoscibili attraverso l'uso di diversi materiali e colori.

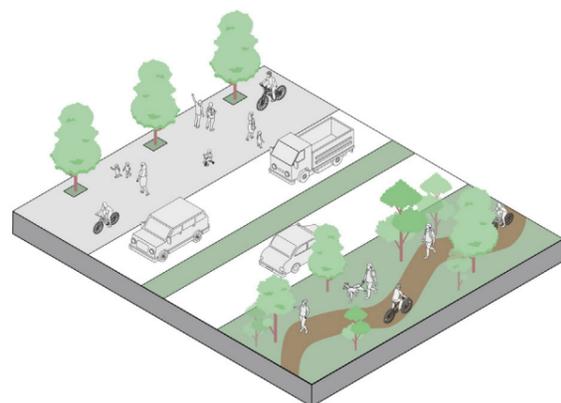


Fig. 7
Schema di pista ciclabile e pedonale, elaborazione personale

Nel caso delle **piste ciclabili e veicolari** si verifica la presenza promiscua di veicoli e ciclisti senza l'inserimento di corsia dedicata segnalata a terra. Tra queste tipologie di piste vengono considerati anche quei tratti di strada che fanno parte del progetto di riqualificazione urbana chiamato "Zona 30", in particolare nelle zone del centro, dei quartieri di Vanchiglia e San Salvario, in cui il limite di velocità è ridotto a 30 km all'ora per favorire la condivisione degli spazi da parte dei vari utenti.

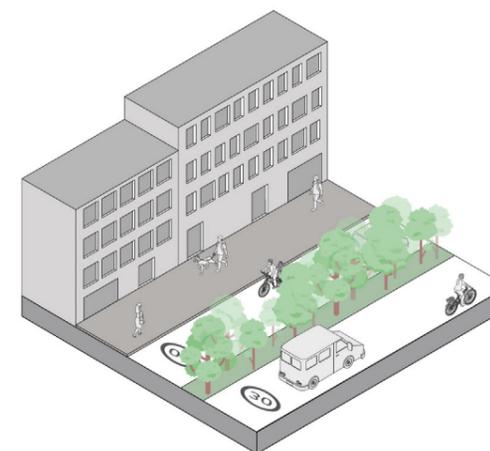


Fig. 8
Schema di pista ciclabile e veicolare, elaborazione personale

A partire dai dati ricavati dal Piano Urbano della Mobilità Sostenibile, dai dati elaborati con il software QGIS (Individuazione delle infrastrutture ciclabili esistenti - aggiornamento all'anno 2018) resi disponibili dalla città metropolitana di Torino e implementati dalle informazioni ricavate dai sopralluoghi è stato possibile elaborare la mappa in fig. 10 che mostra la distribuzione dell'infrastruttura ciclabile a Torino in base alla tipologia. Per quanto riguarda l'estensione dei percorsi, la tipologia in sede propria è quella più sviluppata, circa 70 km, seguita dalle piste ciclabili in sede propria nel verde. Questi dati dimostrano l'importanza che viene attribuita ad un'infrastruttura sicura e opportunamente separata dalla carreggiata stradale sia all'interno del tessuto urbano che nei parchi. La corsia riservata ricavata da carreggiata stradale o dal marciapiede è una soluzione che viene adottata meno frequentemente ma è necessaria nel caso in cui la pista venga progettata in corrispondenza di una carreggiata stradale preesistente che non dispone di uno spazio sufficiente per la realizzazione di una pista. Infine solo 15 km vengono adibiti a percorsi ciclabili e veicolari, una soluzione che non garantisce adeguatamente la sicurezza dei ciclisti.

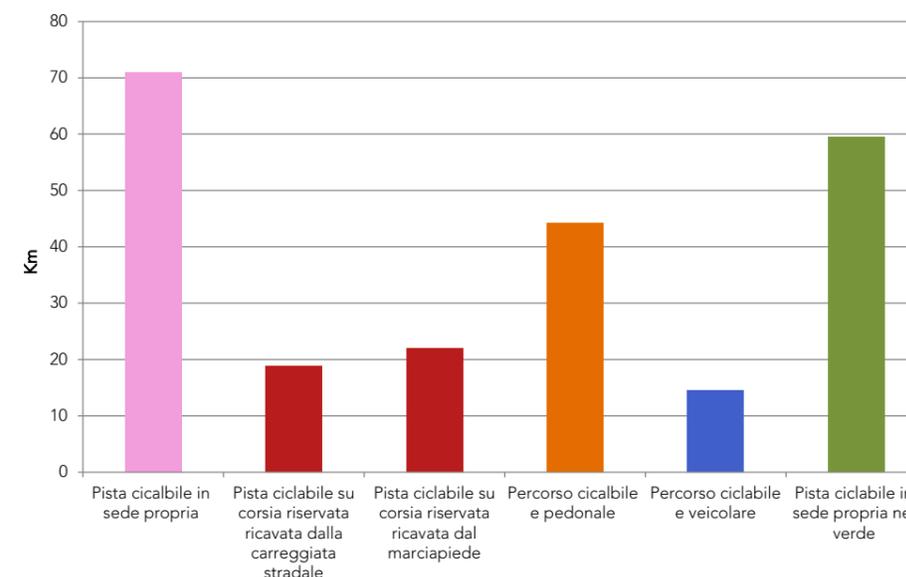
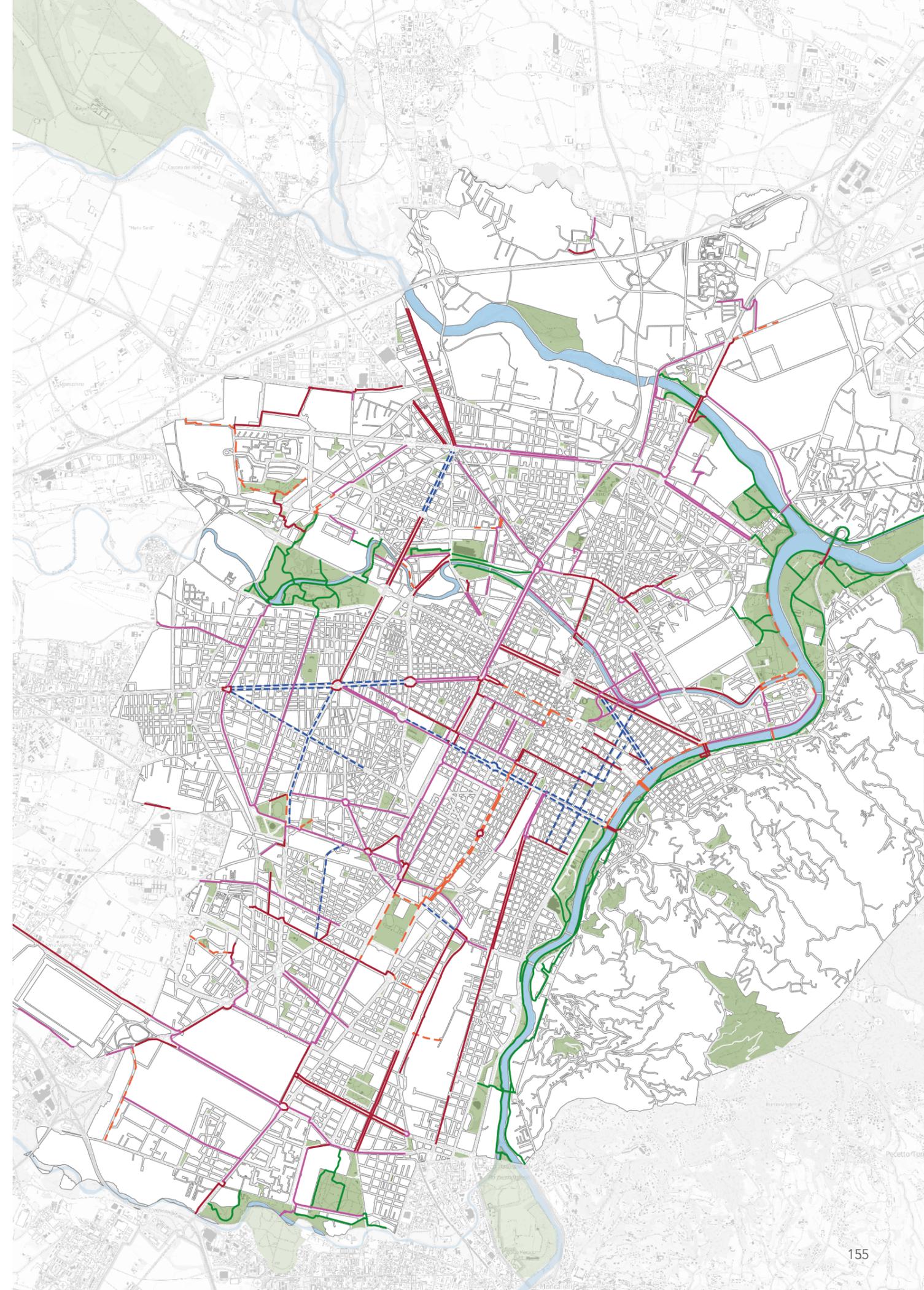


Fig. 9
Estensione delle piste ciclabili in base alla tipologia, elaborazione personale

FIG. 10
 CLASSIFICAZIONE DELLE PISTE IN
 BASE ALLA TIPOLOGIA DI PERCORSO,
 elaborazione personale dai dati ricavati dal
 Piano Urbano della Mobilità Sostenibile, dai dati
 elaborati con il software QGIS (Individuazione delle
 infrastrutture ciclabili esistenti - aggiornamento
 all'anno 2018) resi disponibili dalla città metropolitana
 di Torino e implementati dalle informazioni ricavate
 dai sopralluoghi

LEGENDA

- Pista ciclabile in sede propria
- Pista ciclabile su corsia riservata
- - - Percorso ciclabile e pedonale
- - - Percorso ciclabile e veicolare
- Percorso ciclabile in sede propria nel verde
- Fiume
- Parchi



5.3.2 Relazione con il sistema di illuminazione

Oltre ad una classificazione tipologica delle piste in relazione alla strada, basandosi su un'analisi fotografica e i sopralluoghi, è stata proposta un'ulteriore classificazione delle piste ciclabili in funzione della relazione con il sistema di illuminazione, riportata graficamente nella fig.12.

Scendendo più nel dettaglio della trattazione delle piste ciclabili è infatti necessario indagare della loro relazione con la luce elettrica, poiché l'illuminazione è l'elemento che garantisce la fruizione e la visibilità delle piste durante la notte consentendo l'uso sicuro da parte degli utenti.

Al termine dell'indagine è stato possibile individuare quattro situazioni ricorrenti:

- La presenza di apparecchi dedicati per la pista ciclabile;
- La presenza di apparecchi non dedicati per la pista ciclabile;
- La presenza di apparecchi per la pista e la strada;
- Assenza di apparecchi.

La prima categoria comprende per la maggior parte dei casi delle piste su una corsia in sede propria che presentano degli **apparecchi dedicati** il cui flusso luminoso è direttamente rivolto sul percorso (fig. 13-14). In alcuni casi sono presenti degli apparecchi doppi posti a diverse altezze, uno più alto che illumina la corsia stradale e uno più basso focalizzato sul percorso ciclabile o ciclopedonale (fig. 15).

La configurazione di pista associata ad **apparecchi non dedicati** si verifica quando il flusso luminoso è rivolto soltanto verso la strada e non vi è luce diretta verso la pista che, di conseguenza, risulta più buia e parzialmente illuminata (fig. 16-17).

In alcuni casi, se la pista è ricavata all'interno di un sedime stradale preesistente, essa viene **illuminata indirettamente** dall'impianto di illuminazione stradale che non viene adattato anche alle necessità dei ciclisti (fig. 18-21).

Una situazione particolare è rappresentata dalle piste interne ai parchi che in alcuni tratti **non dispongono di un sistema di illuminazione**. Questo scenario si verifica poiché le attività dell'uomo all'interno del parco non si estendono nelle ore notturne rendendo possibile l'adozione di soluzioni di illuminazione limitate ad alcune zone come gli ingressi. In questo modo è possibile assicurare il risparmio energetico e una maggiore attenzione verso l'ambiente.

L'estensione delle piste in base alla relazione con l'impianto di illuminazione è stata ricavata, a partire dalle informazioni presenti all'interno del Biciplan, estrapolando le lunghezze dei tratti mancanti dall'elaborato "Individuazione delle infrastrutture ciclabili esistenti -

aggiornamento all'anno 2018" della città metropolitana di Torino e conteggiando personalmente i tratti mancanti.

La categoria più frequente, che si estende per 110 km, è rappresentata dalle piste che non presentano un'illuminazione dedicata ma vengono illuminate indirettamente. Questo dato è dovuto probabilmente alla realizzazione di molte delle piste ciclabili in un contesto già illuminato per il quale non è stato ritenuto necessario l'inserimento di un secondo sistema di illuminazione specifico per la pista ma che rispetta le esigenze di una particolare categoria di utenti, i guidatori.

La seconda categoria più diffusa è rappresentata dagli apparecchi dedicati che si estende per circa 75 km, mentre per circa 22 km di piste non è presente un'illuminazione dedicata.

La classificazione dei percorsi relazionati alla disposizione degli impianti di illuminazione è necessaria per determinare il livello di qualità associato all'uso della pista. Le criticità associate al sistema di illuminazione, infatti, compromettono l'accessibilità alla rete ciclabile e possono rappresentare un rischio per la sicurezza degli utenti.

Inoltre, evidenziando i casi più critici, è possibile intervenire per progettare delle soluzioni illuminotecniche più attente all'ambiente e che rispondono adeguatamente alle necessità degli utenti.

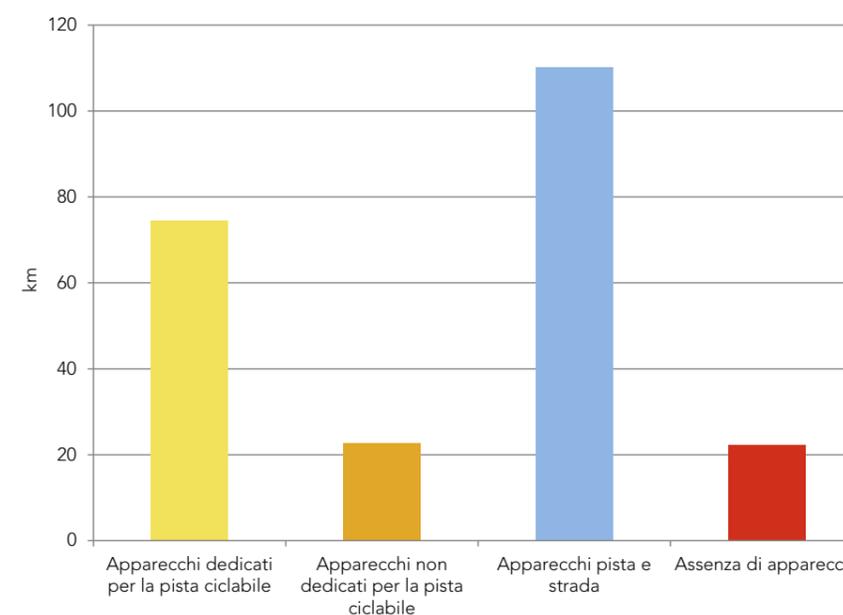
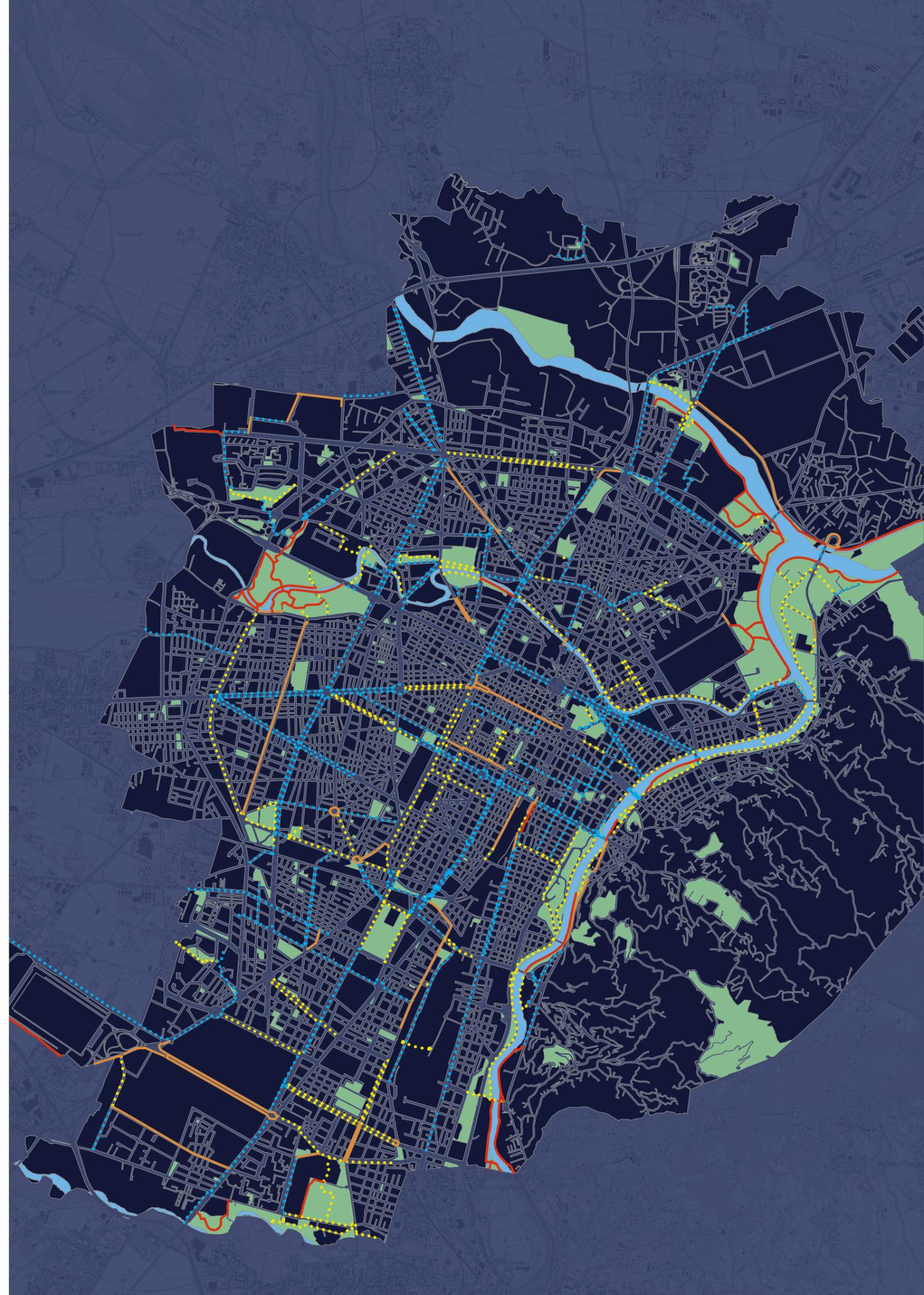


Fig. 11 Estensione delle piste ciclabili in base alla relazione con il sistema di illuminazione, elaborazione personale

FIG. 12
CLASSIFICAZIONE DELLE PISTE IN BASE
ALLA RELAZIONE CON IL SISTEMA DI
ILLUMINAZIONE, elaborazione personale da dati
ricavati da Google Maps e durante i sopralluoghi

LEGENDA

- Apparecchi dedicati per la pista ciclabile
- Apparecchi non dedicati per la pista ciclabile
- Apparecchi per la pista e la strada
- Apparecchi assenti
- Fiume
- Parchi



Tipologie ricorrenti di piste ciclabili in base alla relazione con il sistema di illuminazione

Apparecchi dedicati per la pista ciclabile



Fig. 13
Sistema di illuminazione dedicato per la pista ciclabile, elaborazione personale

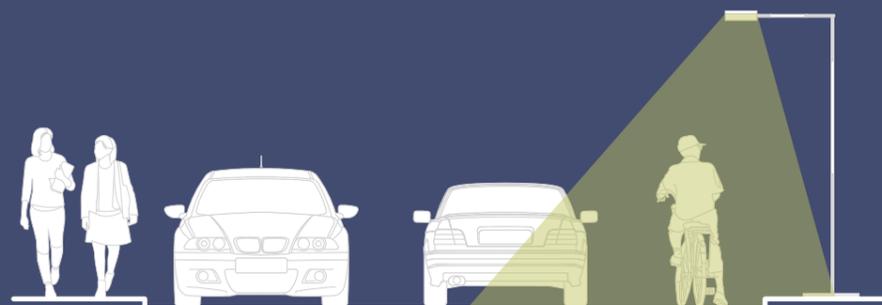


Fig. 14
Sistema di illuminazione dedicato per la pista ciclabile, elaborazione personale

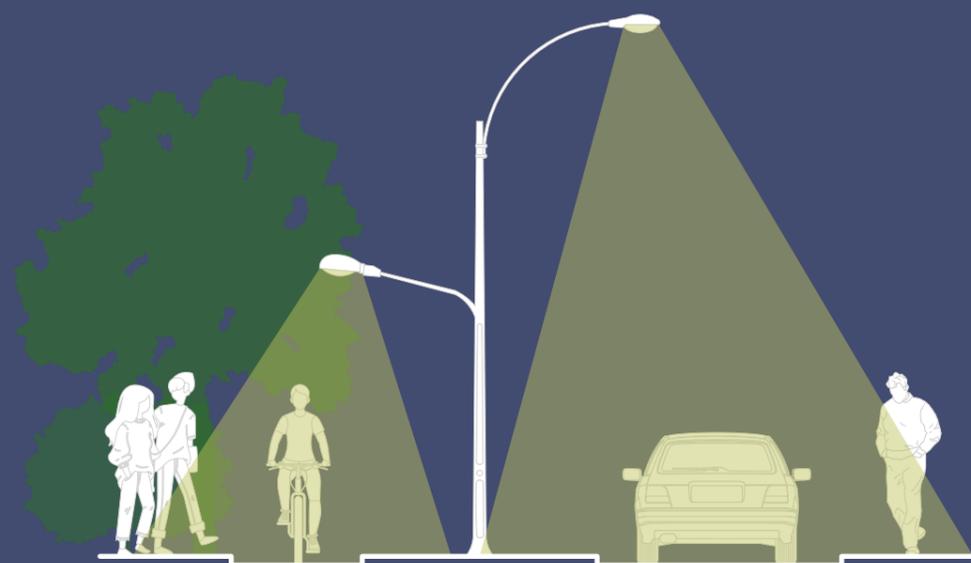


Fig. 15
Sistema di illuminazione dedicato per la pista ciclabile, elaborazione personale

Apparecchi non dedicati per la pista ciclabile

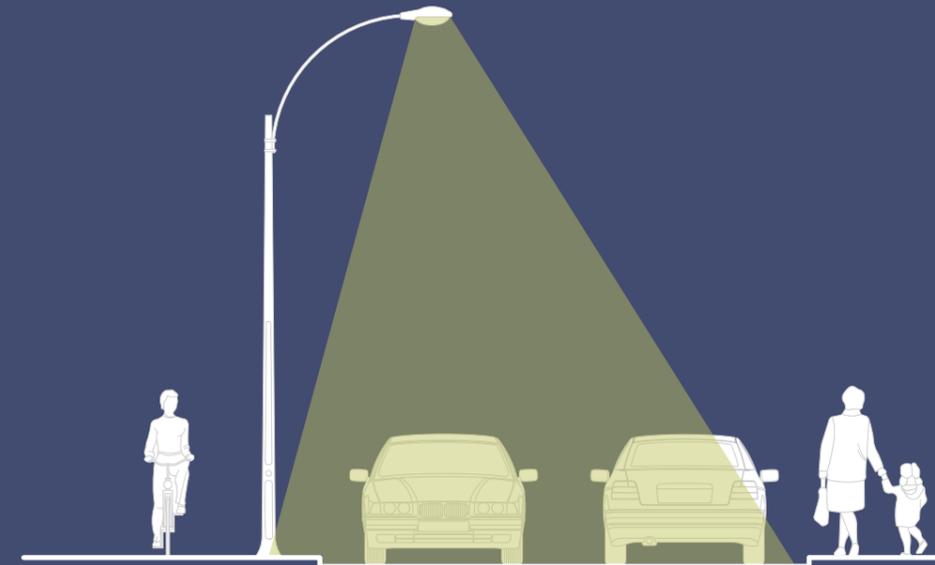


Fig. 16
Sistema di illuminazione non dedicato per la pista ciclabile, elaborazione personale

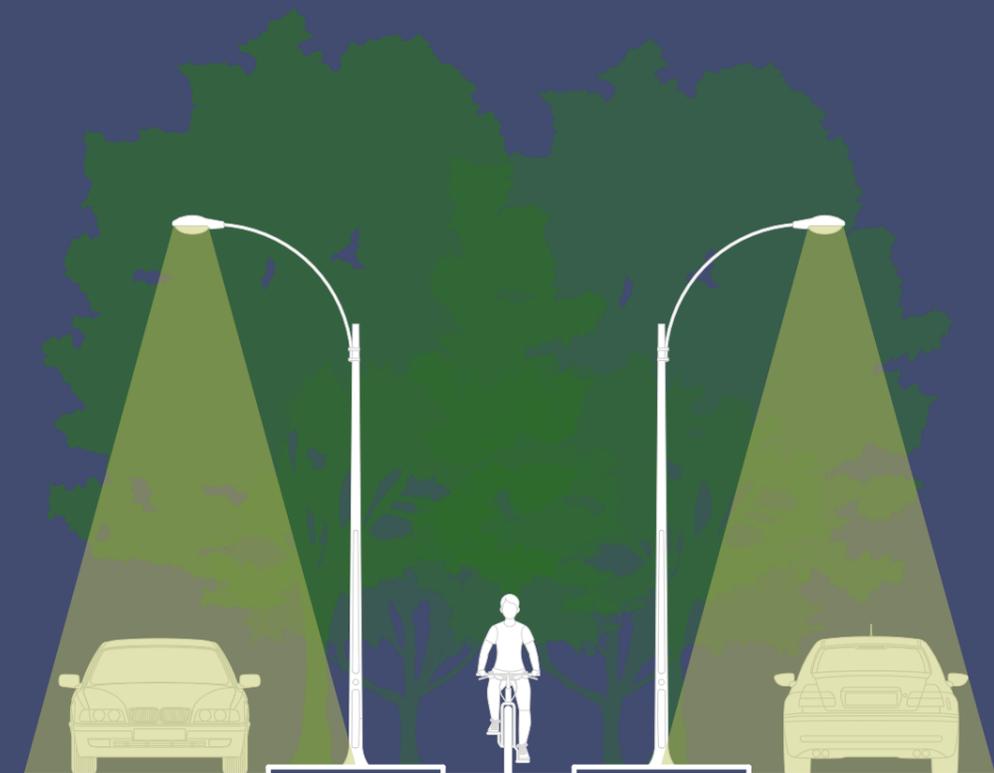


Fig. 17
Sistema di illuminazione non dedicato per la pista ciclabile, elaborazione personale

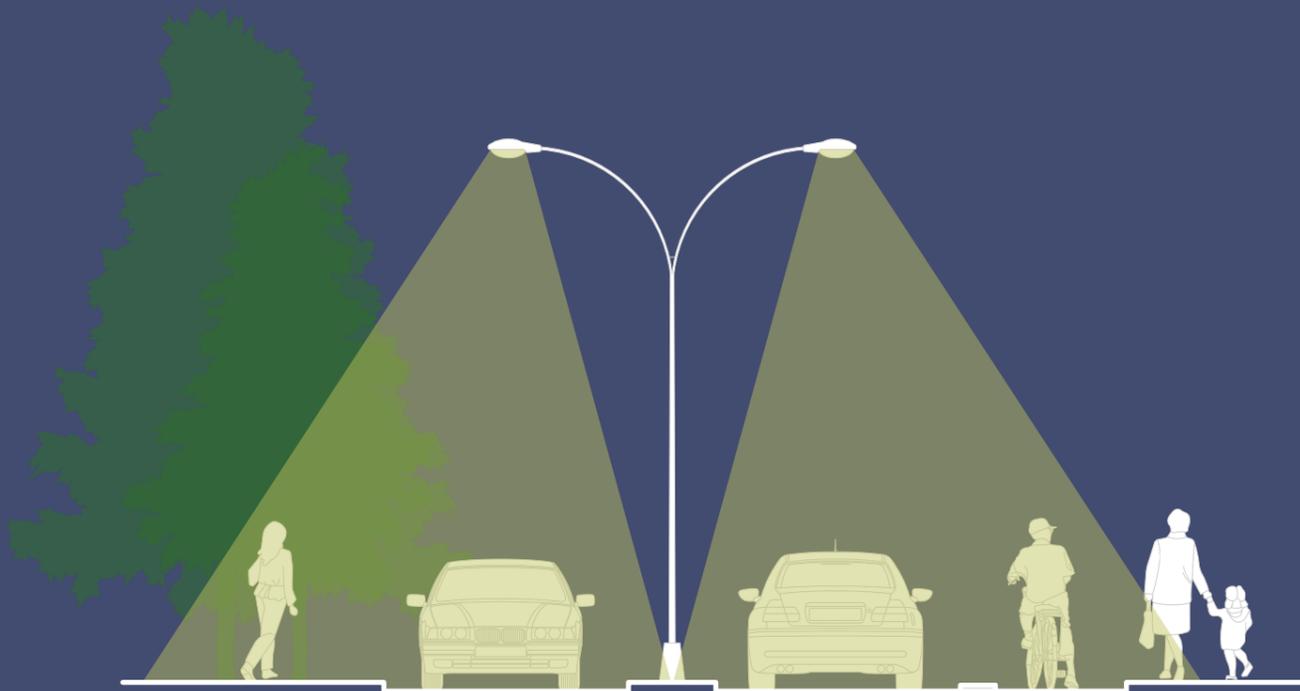


Fig. 18
Sistema di illuminazione per la pista e la strada, elaborazione personale

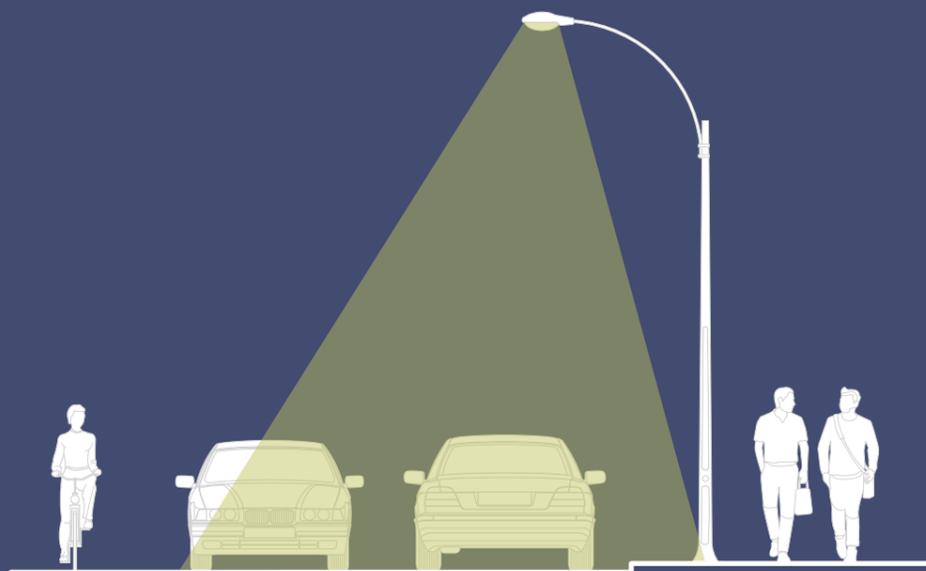


Fig. 19
Sistema di illuminazione per la pista e la strada, elaborazione personale

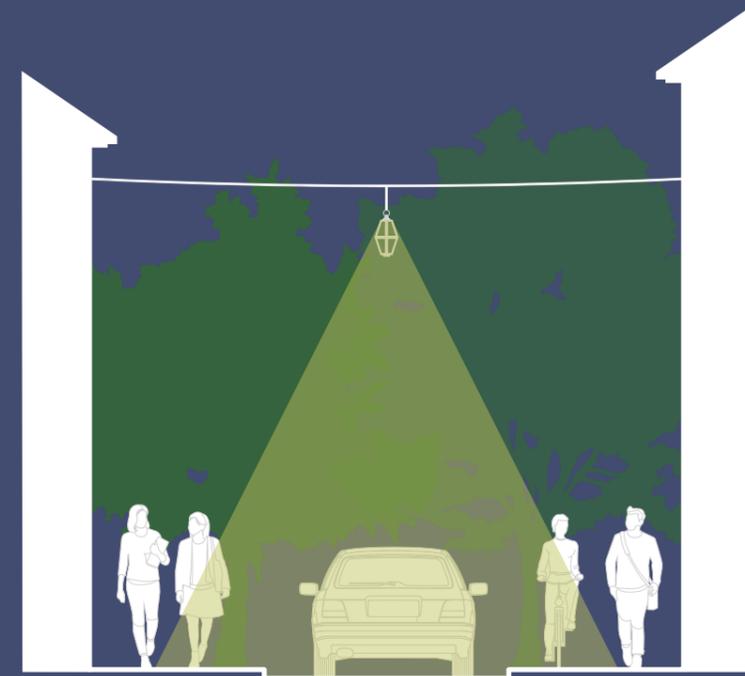


Fig. 20
Sistema di illuminazione per la pista e la strada (apparecchi storici), elaborazione personale



Fig. 21
Sistema di illuminazione per la pista e la strada (apparecchi storici), elaborazione personale

5.3.3 Analisi dei flussi di traffico

Un ulteriore elemento conoscitivo fondamentale per costruire il quadro della mobilità lenta a Torino consiste nell'analisi dei flussi di traffico.

Un sistema di percorsi ciclabili efficiente è caratterizzato da una rete, che si articola in assi principali e diramazioni secondarie, progettata per rispondere alle necessità degli spostamenti degli utenti, dalla casa alla scuola, al luogo di lavoro, dall'esterno della città all'interno e viceversa, e permettono il collegamento con le principali stazioni ferroviarie, della metropolitana e dei mezzi pubblici.

Per quanto riguarda la mobilità ciclabile, i dati relativi agli spostamenti delle persone durante la giornata vengono raccolti da 12 stazioni di monitoraggio distribuite sul territorio urbano e collocati in corrispondenza delle seguenti piste¹²⁸:

1. Lungo Dora Siena
2. Corso Francia Nord
3. Corso Francia Sud
4. Corso Castelfidardo
5. Via Bertola
6. Parco del Valentino
7. Via Nizza (2 stazioni)
8. Corso Matteotti
9. Piazza Statuto (2 stazioni)
10. Largo Tirreno



I dati relativi ai passaggi totali registrati evidenziano come le piste siano meno sfruttate nei periodi più freddi dell'anno, Gennaio, Febbraio, e ad Agosto quando la città è meno frequentata, registrando una media giornaliera di 693 passaggi, significativamente ridotta rispetto agli altri periodi dell'anno. Tuttavia il numero di passaggi il grafico, escludendo le eccezioni stagionali, mantiene un andamento costante per il resto

128 La mobilità ciclistica a Torino: i numeri: <https://www.muoversiatorino.it/it/mobilita-ciclistica/>

Fig. 22 Flusso dei ciclisti nella città di Torino, Heatmap STRAVA: <https://www.strava.com/maps/global-heatmap?sport=Ride&style=dark&terrain=false&labels=false&poi=false&cPhotos=false&gColor=blue&gOpacity=100#10.97/45.0542/7.6452>

dell'anno, sottolineando come la bicicletta sia un mezzo di trasporto diffuso per gli spostamenti quotidiani, sia per motivi di lavoro che per il tempo libero.

Facendo riferimento al mese di Settembre 2024, è stata registrata una media giornaliera di 1,138 passaggi, la maggior parte dei quali si concentrano nei quartieri di Crocetta e Quadrilatero.

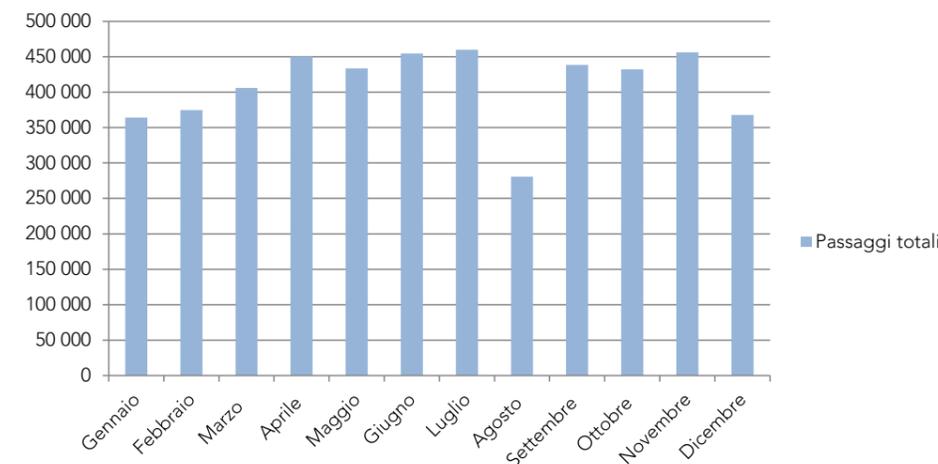


Fig. 23 Passaggi totali registrati nel 2024, elaborazione personale da <https://data.eco-counter.com/ParcPublic/?id=6771>

In particolare la pista lungo Corso Castelfidardo è la più frequentata con un totale di 57,158 passaggi, mentre Via Bertola registra 49,406 passaggi e Piazza Statuto 45,491.

La distribuzione dei flussi che si concentra lungo queste piste può essere giustificata dal fatto che l'asse di Corso Castelfidardo e Corso Inghilterra svolge il ruolo fondamentale di collegamento tra la zona Nord e Sud della città, inoltre lungo questi percorsi si concentrano poli di particolare interesse come la sede del Politecnico di Torino, la stazione ferroviaria di Torino porta Susa e le stazioni della metro.

Questo fenomeno dimostra come sia importante l'inserimento della rete ciclabile in un sistema che sviluppi al meglio le connessioni con i servizi e il trasporto pubblico favorendone l'utilizzo.



Fig. 24 Dati dei flussi riferiti al mese di Settembre 2024 nelle diverse stazioni di monitoraggio, elaborazione personale da <https://data.eco-counter.com/ParcPublic/?id=6771>

5.4 Schede descrittive

L'obiettivo della fase di conoscenza e analisi dello stato di fatto del caso studio, le piste ciclabili della città di Torino, è la stesura di schede descrittive di tipologie di piste ricorrenti.

Le classificazioni in base al tipo di pista e relazione con il sistema di illuminazione vengono utilizzate nella matrice riportata in fig. 25 come fattori per la definizione di **9 casi ricorrenti**, approfonditi all'interno delle schede. Le piste ciclabili sono state selezionate per comprendere, dove possibile, tutte le combinazioni.

Le schede tipologiche sono uno strumento utile per delineare una panoramica completa delle piste ciclabili di Torino e della loro complessità, e svolgono anche la funzione di supporto per la selezione dei sedimi specifici per analisi sperimentale, oggetto del capitolo successivo.

Ogni scheda comprende una prima sezione dedicata all'**inquadramento** e ai **dati descrittivi** della pista come la tipologia di sedime, la pavimentazione, la presenza di segnaletica orizzontale e verticale e dei dati geometrici. Successivamente viene riportata una rappresentazione grafica che evidenzia la pista ciclabile inserita all'interno del contesto stradale in cui si trova sottolineando la relazione con il sistema di illuminazione e delle **immagini** raccolte durante i sopralluoghi in condizione di luminosità diurna e notturna.

Per quanto riguarda i sistemi di illuminazione vengono riportate le **caratteristiche dell'apparecchio** e i **parametri prestazionali** della sorgente forniti da IREN.

		Sistema di illuminazione		
		Illuminazione dedicata	Illuminazione pista e strada	Illuminazione non dedicata
Tipologia di pista ciclabile	Pista in sede propria 	Corso Castelfidardo	Corso Principe Oddone	Corso Monte Grappa
	Pista in corsia riservata 	Corso Traiano	Via Nizza	Via Pio VII
	Percorso ciclabile e pedonale 	-	Corso Re Umberto	-
	Percorso ciclabile e veicolare 	-	Corso Francia	-
	Percorsi ciclabili nel verde 	Parco del Valentino	-	-

Fig. 25
Tabella riassuntiva delle piste ciclabili rappresentative per ogni categoria, elaborazione personale

Scheda 1. Corso Castelfidardo

PISTA CICLABILE

I. Dati generali

TIPO DI PISTA	Pista ciclabile in sede propria	
LARGHEZZA [m]	2.5	
SENSO DI MARCIA	Bidirezionale	
POSIZIONE RISPETTO ALLA CARREGGIATA STRADALE	Pista indipendente dalla carreggiata stradale	
ELEMENTO SEPARATORE VERSO LA STRADA	-	
SEGNALETICA ORIZZONTALE	Riga continua	
SEGNALETICA VERTICALE		
TIPO DI PAVIMENTAZIONE	Materiale colorato	lapideo

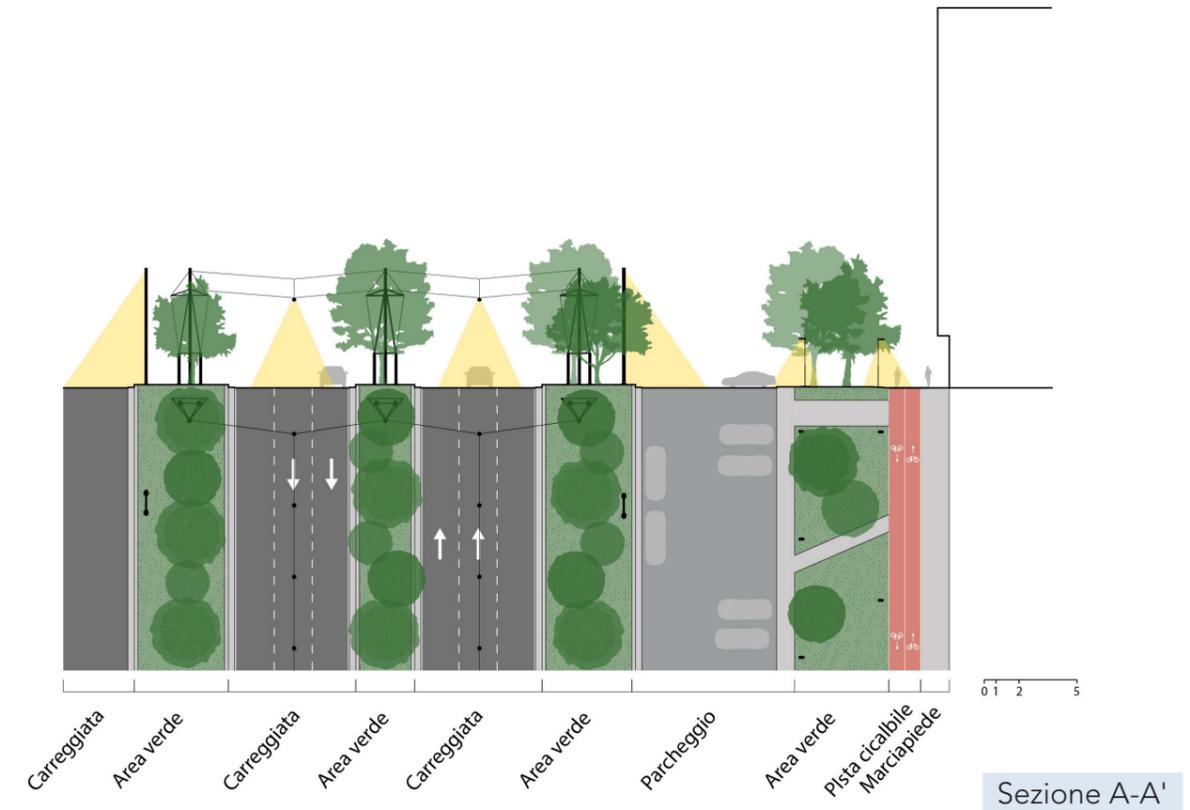


II. Inquadramento (Corso Castelfidardo, civico 21)

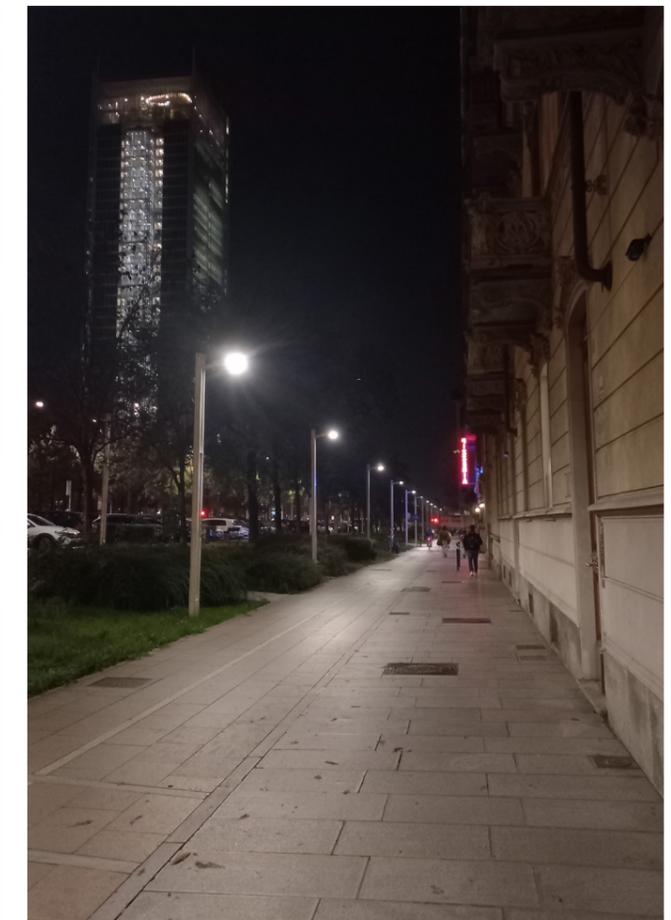


III. Relazione con il sistema di illuminazione

Illuminazione dedicata



IV. Rilievo fotografico



SISTEMA DI ILLUMINAZIONE

I. Informazioni generali

MODELLO	ITALO1/A STRAD - AEC Illuminazione
TIPO DI APPARECCHIO	Apparecchio con piastra a LED
TIPO DI SOSTEGNO	Palo passante
TIPO DI IMPIANTO	Impianto di derivazione

II. Caratteristiche geometriche

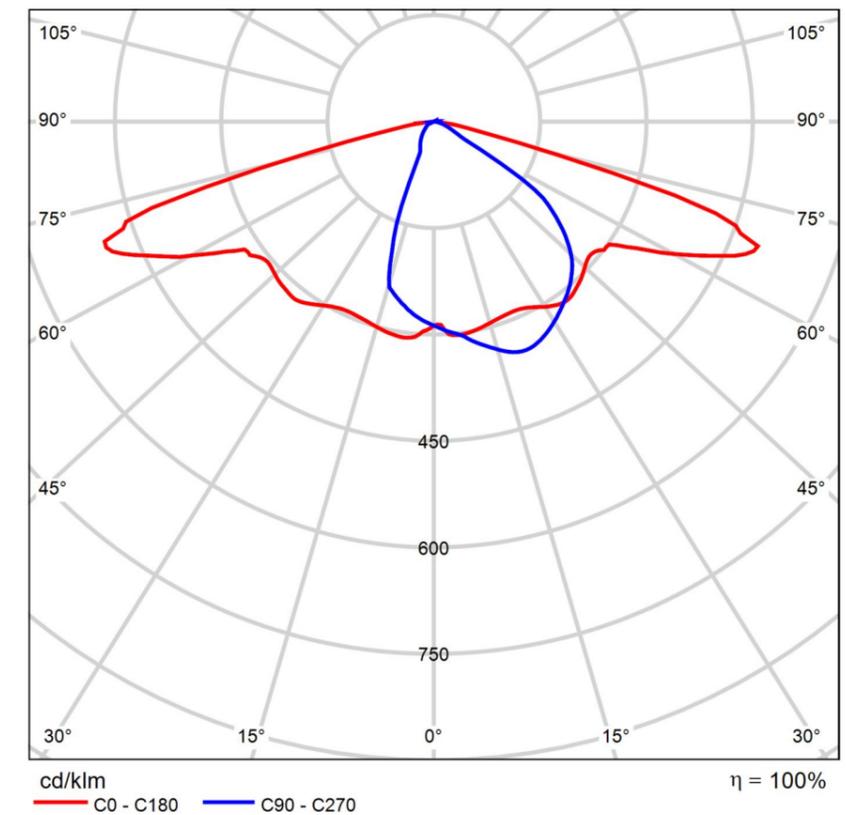
TIPOLOGIA DI MONTAGGIO	Testa - palo
DISPOSIZIONE APPARECCHIO	Singola
ALTEZZA DA TERRA [m]	4
DISTANZA TRA GLI APPARECCHI [m]	13.5



III. Parametri prestazionali

Flusso luminoso emesso dalla sorgente [lm]	3025
Potenza [W]	28.5
Efficienza luminosa [lm/W]	106.1
Temperatura di colore correlata [K]	4000
Indice di resa cromatica [-]	70

VI. Curva fotometrica



Scheda 2. Corso Principe Oddone

PISTA CICLABILE

I. Dati generali

TIPO DI PISTA	Pista ciclabile in sede propria
LARGHEZZA [m]	1.9
SENSO DI MARCIA	Monodirezionale
POSIZIONE RISPETTO ALLA CARREGGIATA STRADALE	Su entrambi i lati della carreggiata
ELEMENTO SEPARATORE VERSO LA STRADA	Ringhiera metallica
SEGNALETICA ORIZZONTALE	Pittogramma velocipede e freccia direzionale lungo il percorso
SEGNALETICA VERTICALE	 
TIPO DI PAVIMENTAZIONE	Asfalto

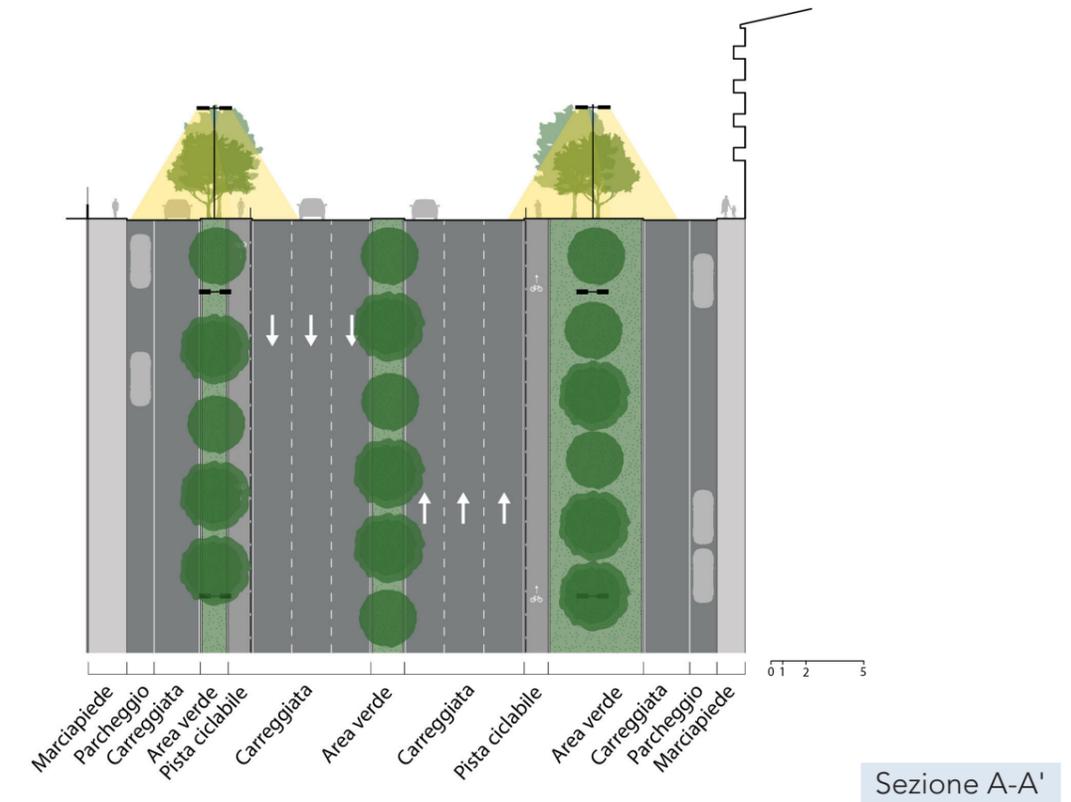


II. Inquadramento (Corso Principe Oddone, civici 38-40/C)



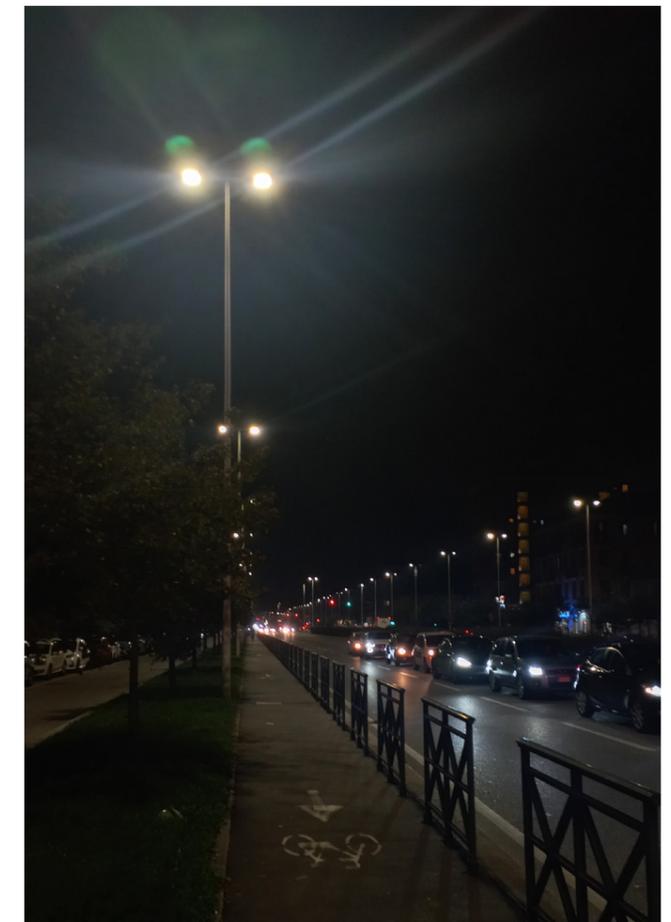
III. Relazione con il sistema di illuminazione

Illuminazione pista e strada



Sezione A-A'

IV. Rilievo fotografico



SISTEMA DI ILLUMINAZIONE

I. Informazioni generali

MODELLO	ITALO2/C STRAD - AEC Illuminazione
TIPO DI APPARECCHIO	Apparecchio con piastra a LED
TIPO DI SOSTEGNO	Palo troncoconico
TIPO DI IMPIANTO	Impianto di derivazione

II. Caratteristiche geometriche

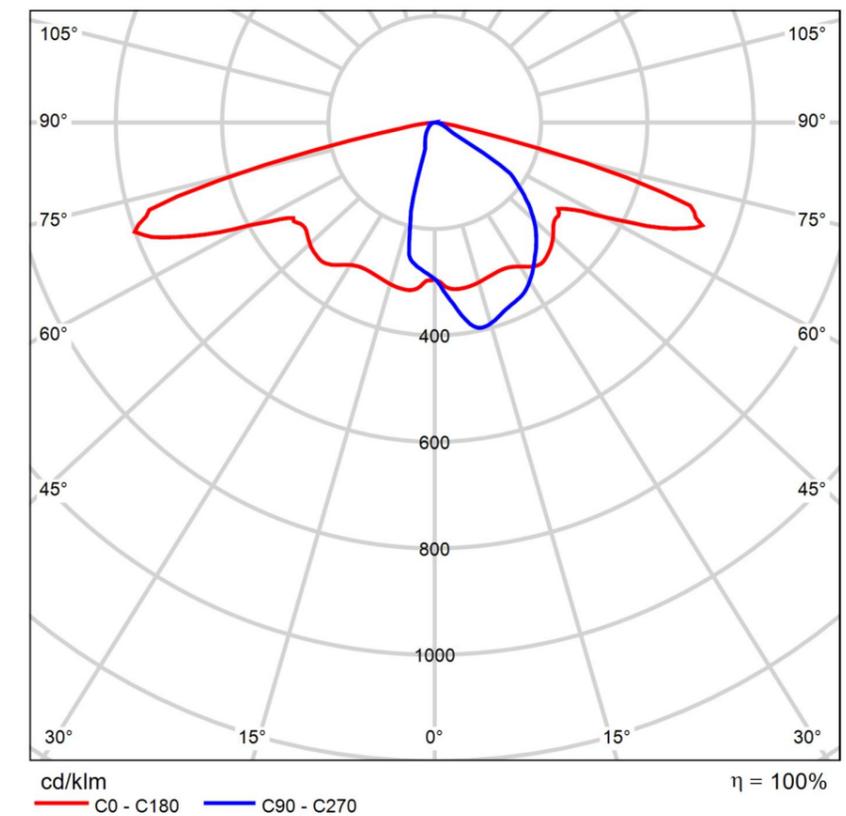
TIPOLOGIA DI MONTAGGIO	Testa- palo
DISPOSIZIONE APPARECCHIO	Doppia
ALTEZZA DA TERRA [m]	12.8
DISTANZA TRA GLI APPARECCHI [m]	26.2



III. Parametri prestazionali

Flusso luminoso emesso dalla sorgente [lm]	13672
Potenza [W]	126
Efficienza luminosa [lm/W]	108.5
Temperatura di colore correlata [K]	4000
Indice di resa cromatica [-]	70

VI. Curva fotometrica

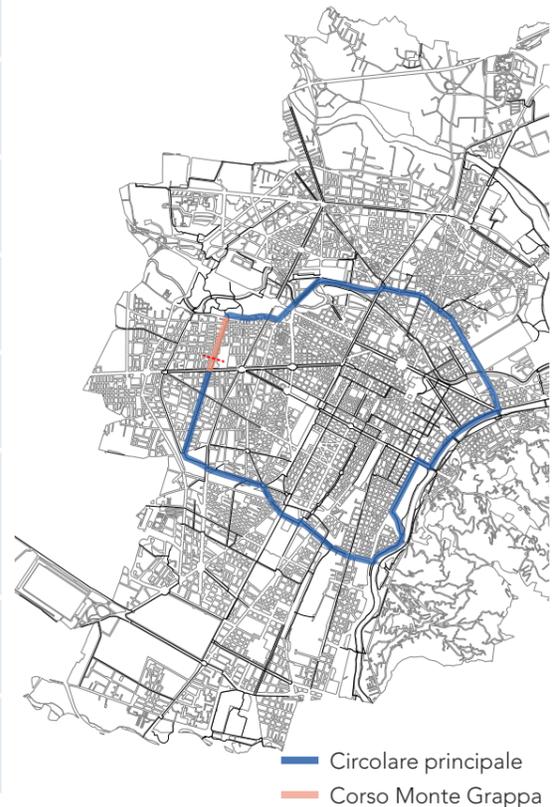


Scheda 3. Corso Monte Grappa

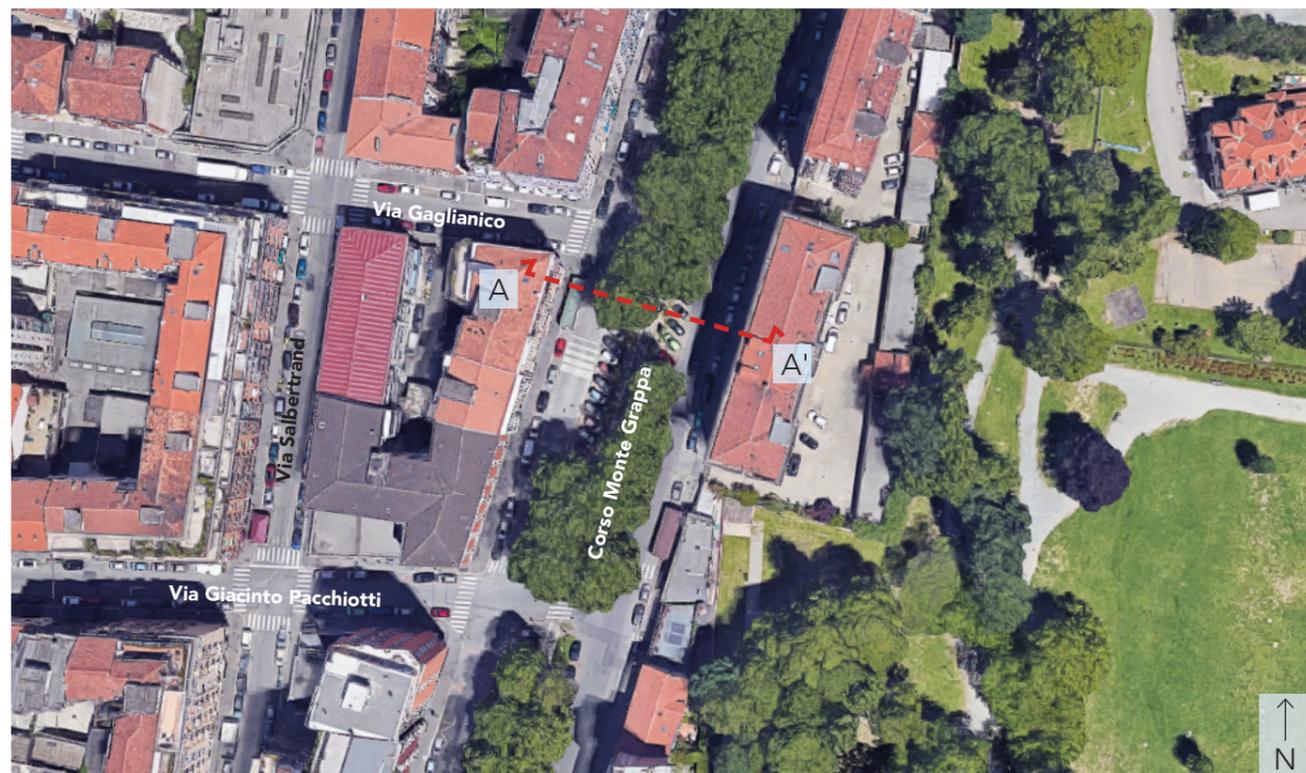
PISTA CICLABILE

I. Dati generali

TIPO DI PISTA	Pista ciclabile in sede propria
LARGHEZZA [m]	2.3
SENSO DI MARCIA	Bidirezionale
POSIZIONE RISPETTO ALLA CARREGGIATA STRADALE	Pista indipendente dalla carreggiata stradale
ELEMENTO SEPARATORE VERSO LA STRADA	Area verde
SEGNALETICA ORIZZONTALE	Pittogramma velocipede e freccia direzionale lungo il percorso
SEGNALETICA VERTICALE	 
TIPO DI PAVIMENTAZIONE	Asfalto

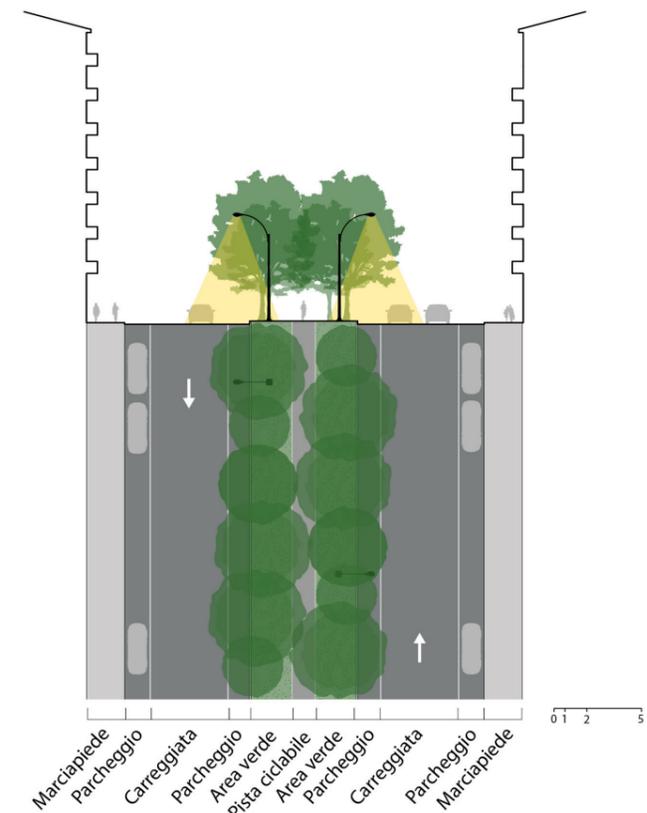


II. Inquadramento (Corso Monte Grappa, civico 44)

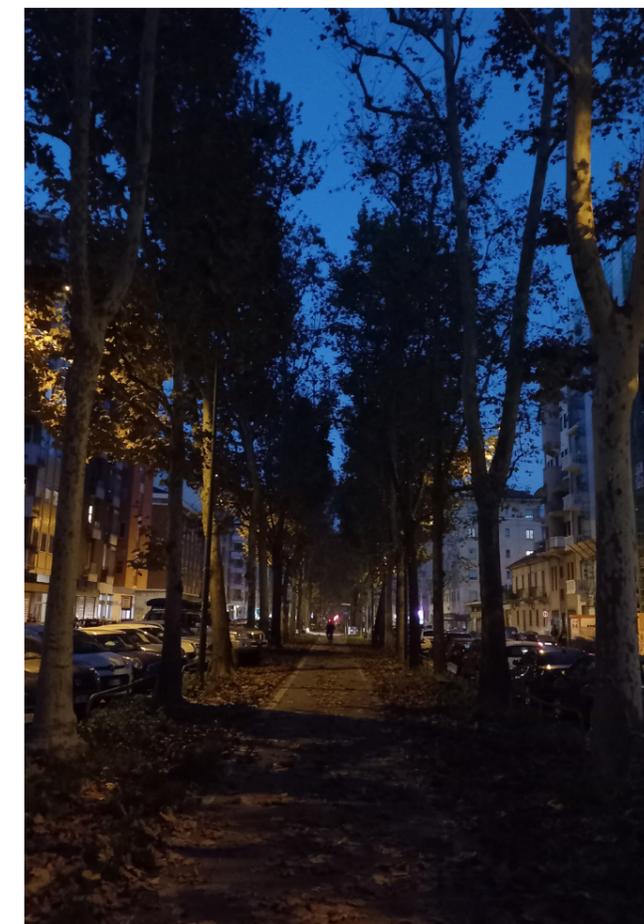


III. Relazione con il sistema di illuminazione

Illuminazione non dedicata



IV. Rilievo fotografico



SISTEMA DI ILLUMINAZIONE

I. Informazioni generali

MODELLO	Squalo - Schreder
TIPO DI APPARECCHIO	Apparecchio con sorgente a scarica a vapori di sodio
TIPO DI SOSTEGNO	Palo troncoconico
TIPO DI IMPIANTO	Impianto in serie

II. Caratteristiche geometriche

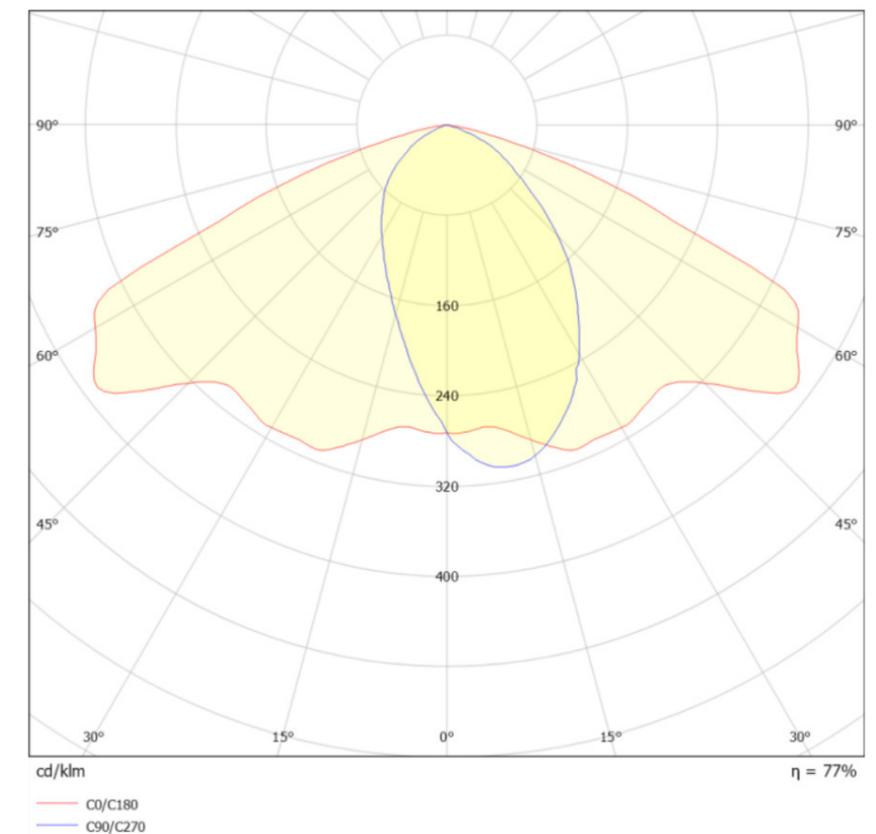
TIPOLOGIA DI MONTAGGIO	A braccio
DISPOSIZIONE APPARECCHIO	Singola
ALTEZZA DA TERRA [m]	9.9
DISTANZA TRA GLI APPARECCHI [m]	37.6



III. Parametri prestazionali

Flusso luminoso emesso dalla sorgente [lm]	<i>dato non disponibile</i>
Potenza [W]	150
Efficienza luminosa [lm/W]	<i>dato non disponibile</i>
Temperatura di colore correlata [K]	<i>dato non disponibile</i>
Indice di resa cromatica [-]	<i>dato non disponibile</i>

VI. Curva fotometrica



Scheda 4. Corso Traiano

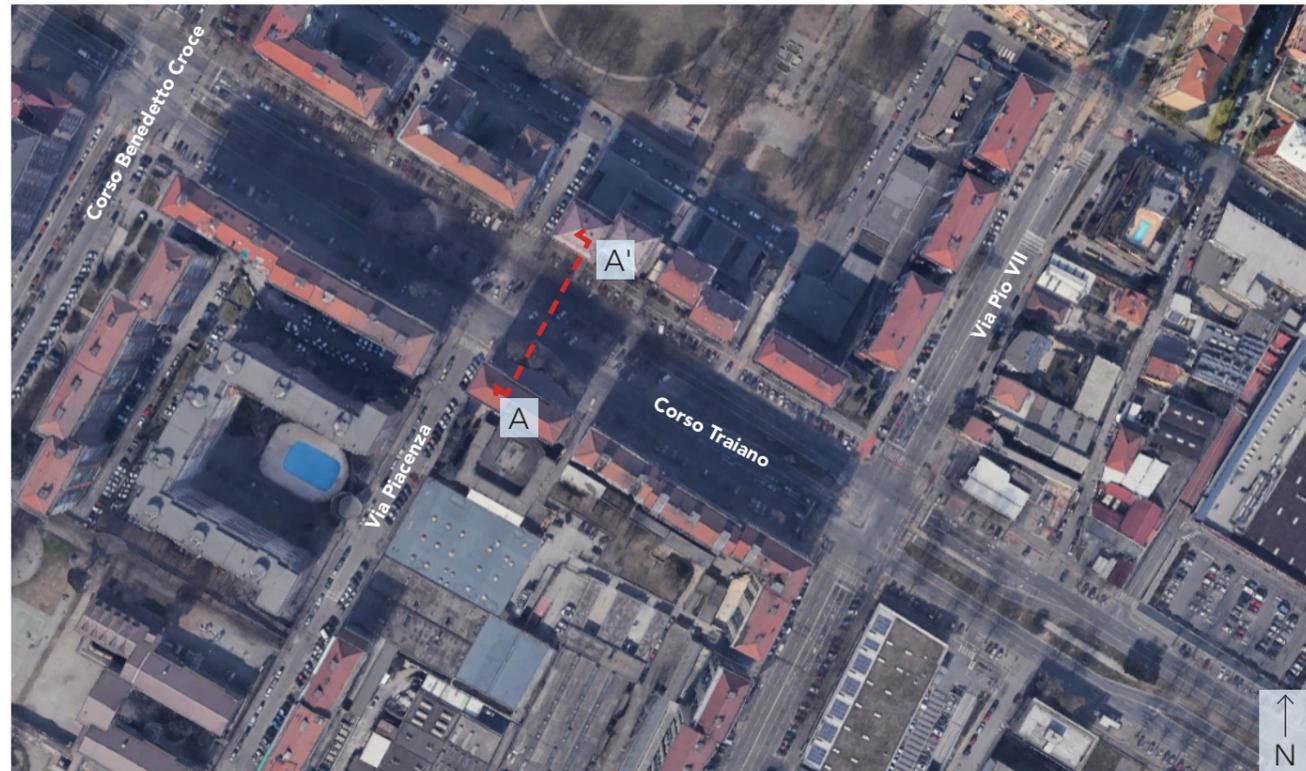
PISTA CICLABILE

I. Dati generali

TIPO DI PISTA	Pista ciclabile su corsia riservata
LARGHEZZA [m]	1.5
SENSO DI MARCIA	Monodirezionale
POSIZIONE RISPETTO ALLA CARREGGIATA STRADALE	Su entrambi i lati della carreggiata, ricavata dal marciapiede
ELEMENTO SEPARATORE VERSO LA STRADA	Riga continua
SEGNALETICA ORIZZONTALE	Pittogramma velocipede e freccia direzionale lungo il percorso
SEGNALETICA VERTICALE	 
TIPO DI PAVIMENTAZIONE	Asfalto

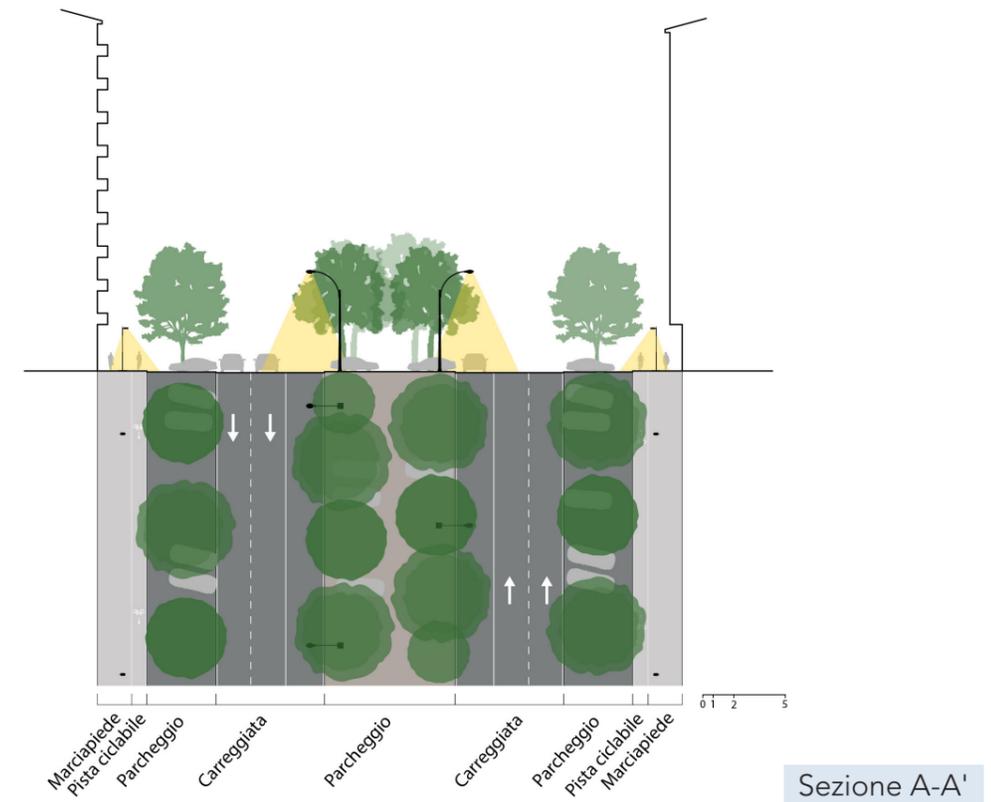


II. Inquadramento (Corso Traiano, civici 97/A-97/B)

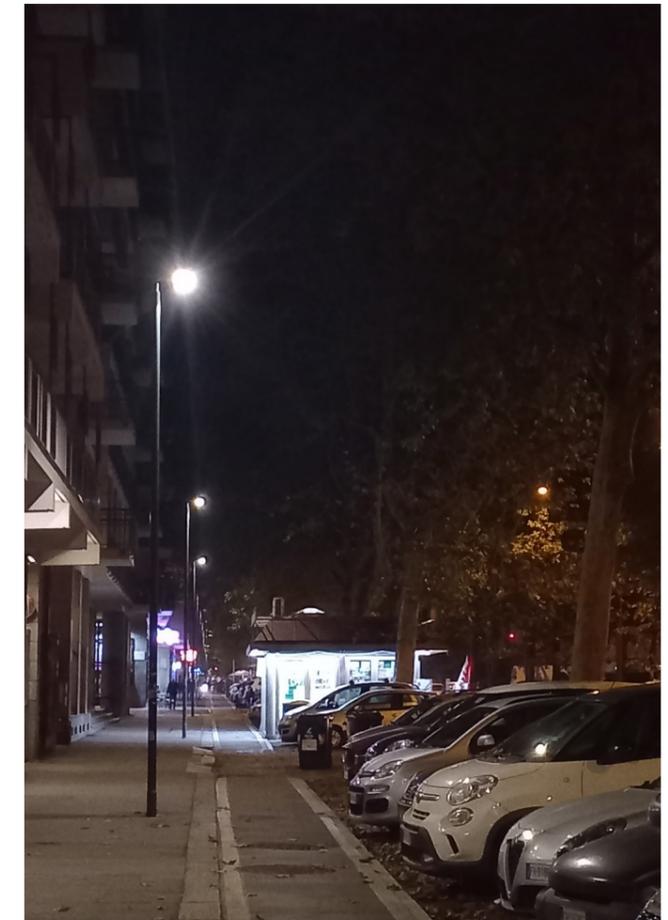
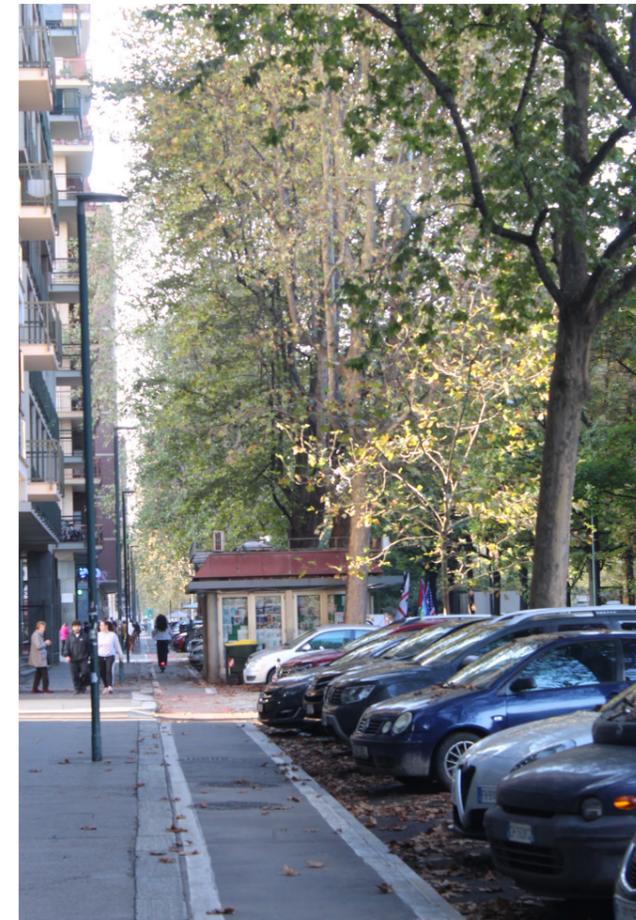


III. Relazione con il sistema di illuminazione

Illuminazione dedicata



IV. Rilievo fotografico



SISTEMA DI ILLUMINAZIONE

I. Informazioni generali

MODELLO	ITALO1/A CICLO - AEC Illuminazione
TIPO DI APPARECCHIO	Apparecchio con piastra a LED
TIPO DI SOSTEGNO	Palo cilindrico
TIPO DI IMPIANTO	Impianto di derivazione

II. Caratteristiche geometriche

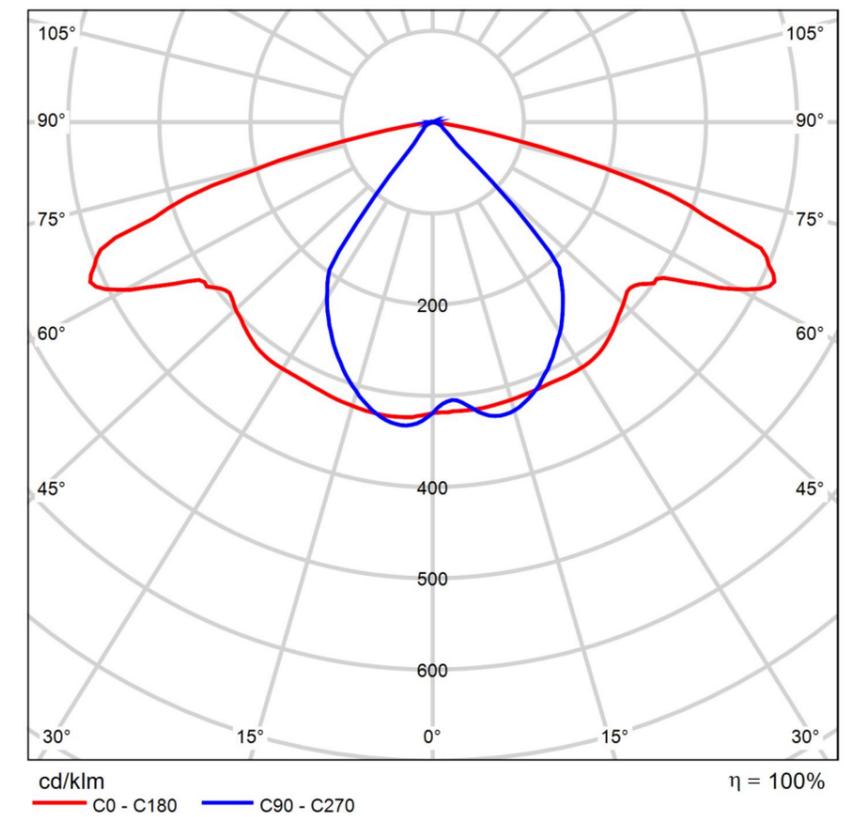
TIPOLOGIA DI MONTAGGIO	Testa- palo
DISPOSIZIONE APPARECCHIO	Singola
ALTEZZA DA TERRA [m]	7
DISTANZA TRA GLI APPARECCHI [m]	35.2



III. Parametri prestazionali

Flusso luminoso emesso dalla sorgente [lm]	3374
Potenza [W]	35.5
Efficienza luminosa [lm/W]	95
Temperatura di colore correlata [K]	4000
Indice di resa cromatica [-]	70

VI. Curva fotometrica



Scheda 5. Via Nizza

PISTA CICLABILE

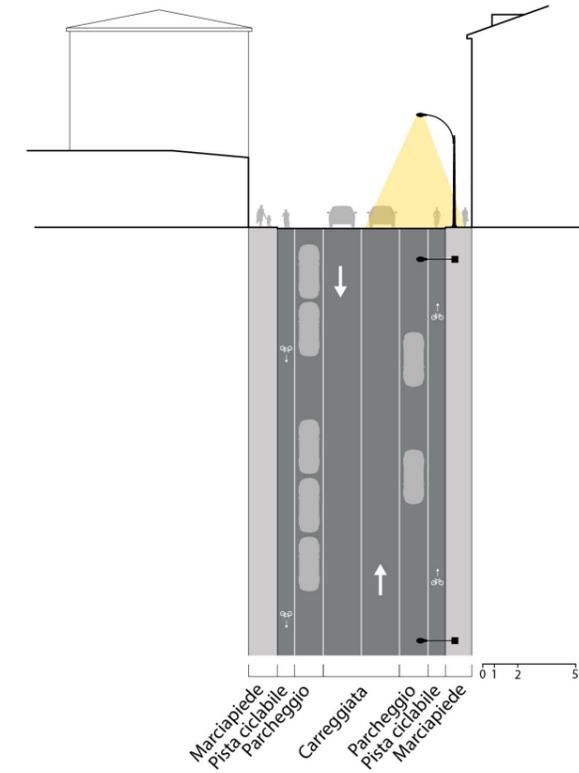
I. Dati generali

TIPO DI PISTA	Pista ciclabile su corsia riservata
LARGHEZZA [m]	2.5
SENSO DI MARCIA	Bidirezionale
POSIZIONE RISPETTO ALLA CARREGGIATA STRADALE	Su entrambi i lati della carreggiata
ELEMENTO SEPARATORE VERSO LA STRADA	Riga gialla continua
SEGNALETICA ORIZZONTALE	Pittogramma velocipede e freccia direzionale lungo il percorso
SEGNALETICA VERTICALE	 
TIPO DI PAVIMENTAZIONE	Asfalto



III. Relazione con il sistema di illuminazione

Illuminazione pista e strada

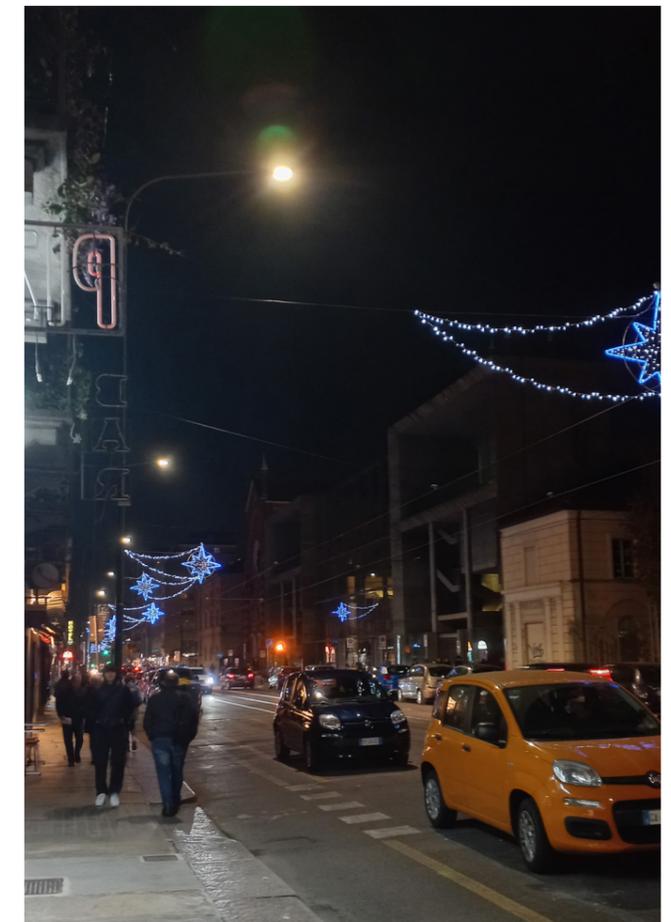


Sezione A-A'

II. Inquadramento (Via Nizza, civici 89/A-89/D)



IV. Rilievo fotografico



SISTEMA DI ILLUMINAZIONE

I. Informazioni generali

MODELLO	ITALO2/C STRAD - AEC Illuminazione
TIPO DI APPARECCHIO	Apparecchio con piastra a LED
TIPO DI SOSTEGNO	Palo troncoconico
TIPO DI IMPIANTO	Impianto di derivazione

II. Caratteristiche geometriche

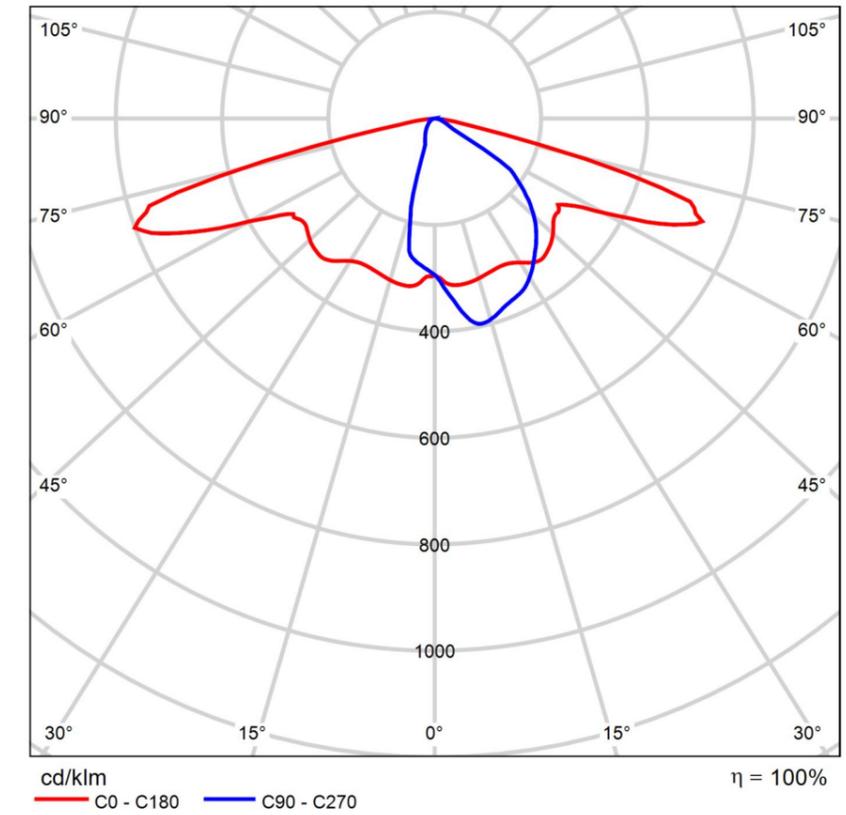
TIPOLOGIA DI MONTAGGIO	A braccio
DISPOSIZIONE APPARECCHIO	Singola
ALTEZZA DA TERRA [m]	11
DISTANZA TRA GLI APPARECCHI [m]	39.6



III. Parametri prestazionali

Flusso luminoso emesso dalla sorgente [lm]	11730
Potenza [W]	116
Efficienza luminosa [lm/W]	101.1
Temperatura di colore correlata [K]	3000
Indice di resa cromatica [-]	<i>dato non disponibile</i>

VI. Curva fotometrica



Scheda 6. Via Pio VII

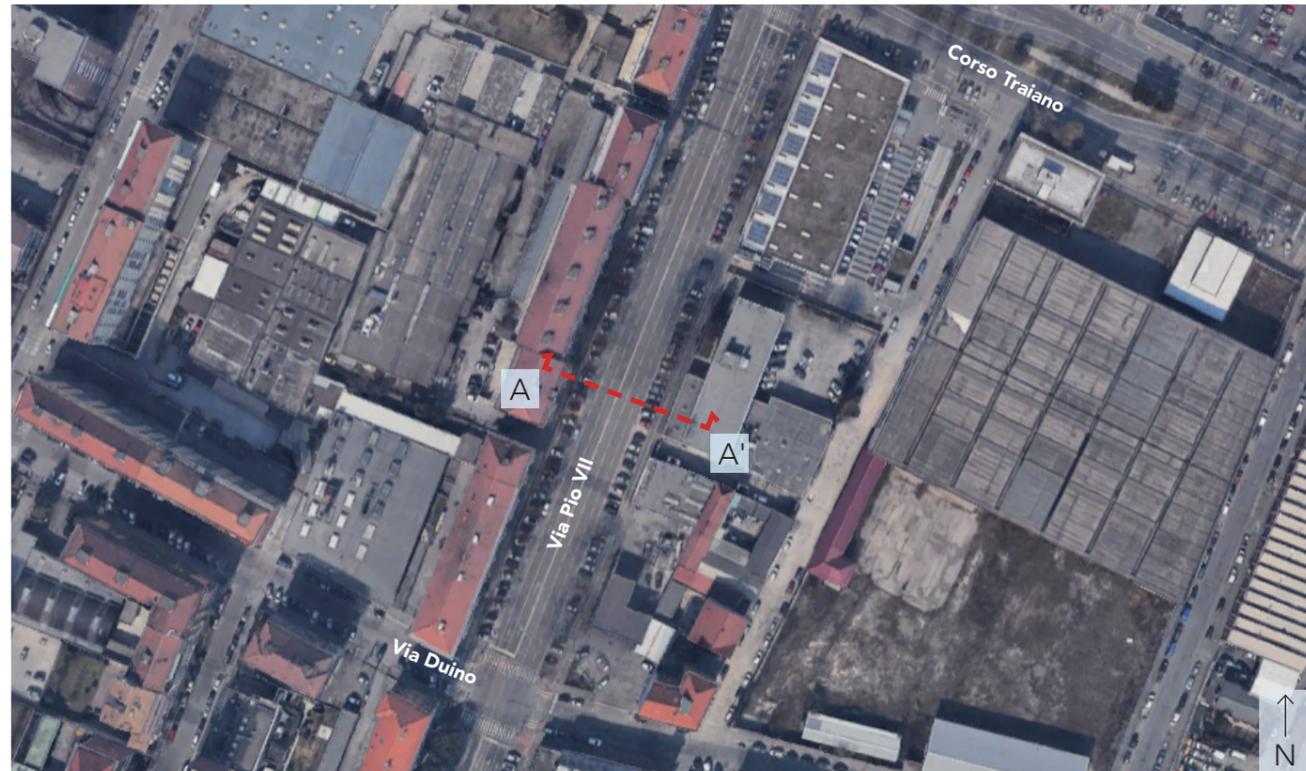
PISTA CICLABILE

I. Dati generali

TIPO DI PISTA	Pista ciclabile su corsia riservata
LARGHEZZA [m]	1.5
SENSO DI MARCIA	Monodirezionale
POSIZIONE RISPETTO ALLA CARREGGIATA STRADALE	Su entrambi i lati della carreggiata, ricavata dal marciapiede
ELEMENTO SEPARATORE VERSO LA STRADA	Riga continua
SEGNALETICA ORIZZONTALE	Pittogramma velocipede e freccia direzionale lungo il percorso
SEGNALETICA VERTICALE	 
TIPO DI PAVIMENTAZIONE	Asfalto

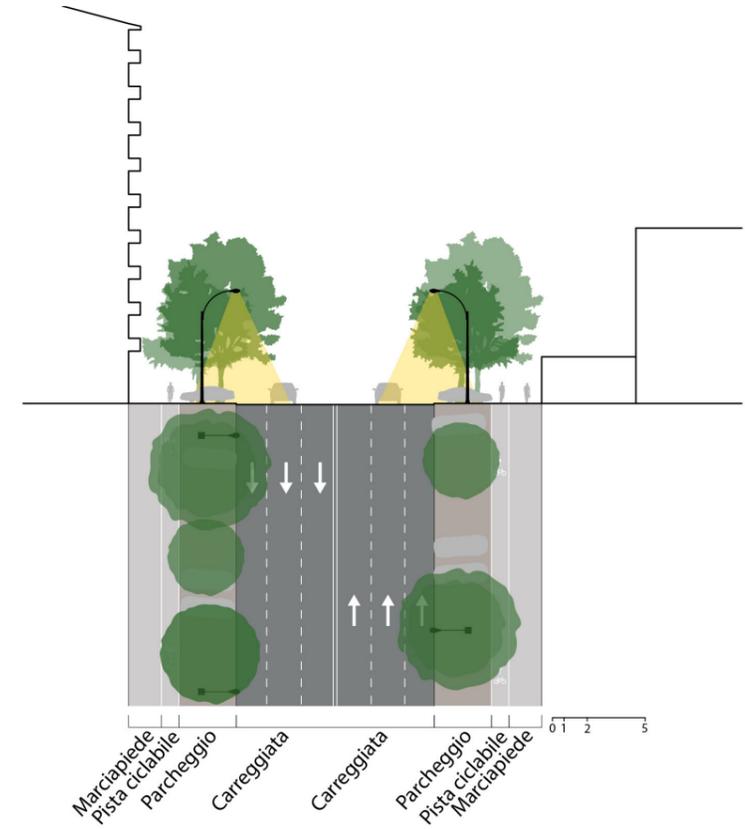


II. Inquadramento (Via Pio VII, civici 126-130)



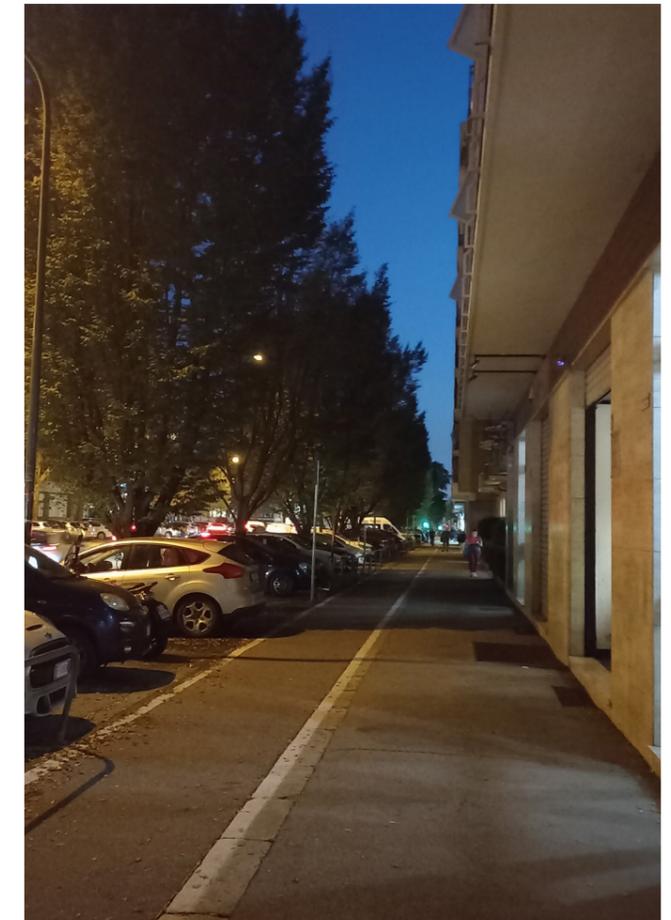
III. Relazione con il sistema di illuminazione

Illuminazione non dedicata



Sezione A-A'

IV. Rilievo fotografico



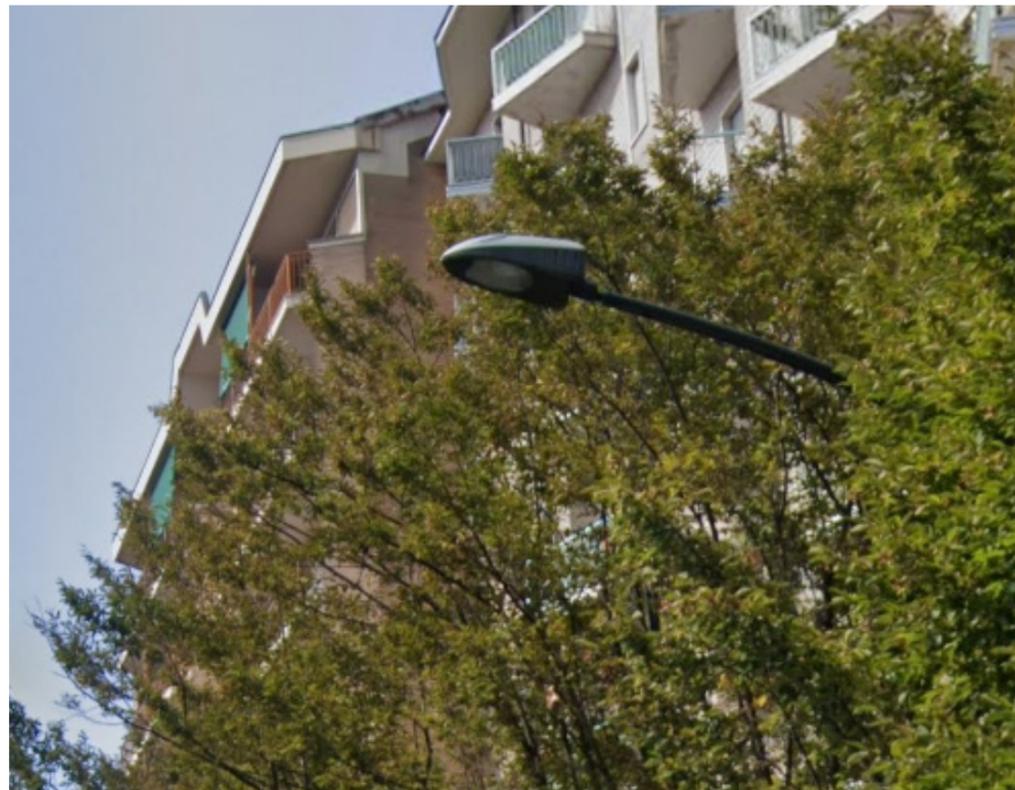
SISTEMA DI ILLUMINAZIONE

I. Informazioni generali

MODELLO	Squalo - Schreder
TIPO DI APPARECCHIO	Apparecchio con sorgente a scarica a vapori di sodio
TIPO DI SOSTEGNO	Palo curvo ostiense
TIPO DI IMPIANTO	Impianto in serie

II. Caratteristiche geometriche

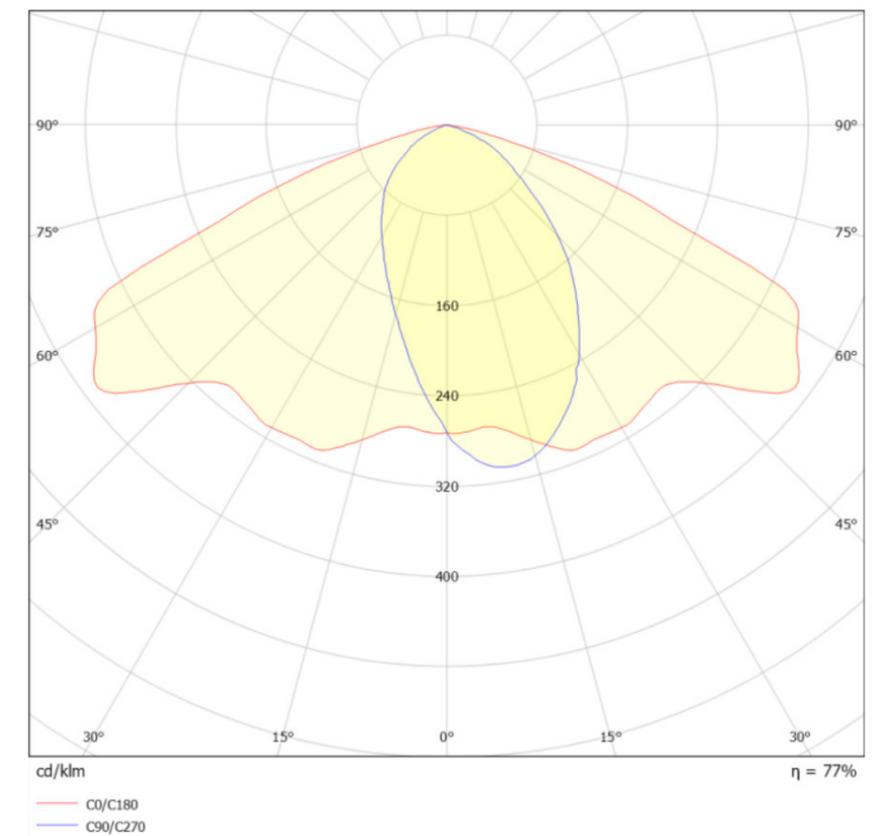
TIPOLOGIA DI MONTAGGIO	A braccio
DISPOSIZIONE APPARECCHIO	Singola
ALTEZZA DA TERRA [m]	9
DISTANZA TRA GLI APPARECCHI [m]	29.8



III. Parametri prestazionali

Flusso luminoso emesso dalla sorgente [lm]	<i>dato non disponibile</i>
Potenza [W]	150
Efficienza luminosa [lm/W]	<i>dato non disponibile</i>
Temperatura di colore correlata [K]	<i>dato non disponibile</i>
Indice di resa cromatica [-]	<i>dato non disponibile</i>

VI. Curva fotometrica



Scheda 7. Corso Re Umberto

PISTA CICLABILE

I. Dati generali

TIPO DI PISTA	Percorso ciclabile e pedonale
LARGHEZZA [m]	2.6
SENSO DI MARCIA	Bidirezionale
POSIZIONE RISPETTO ALLA CARREGGIATA STRADALE	Su entrambi i lati della carreggiata
ELEMENTO SEPARATORE VERSO LA STRADA	Ringhiera metallica
SEGNALETICA ORIZZONTALE	Pittogramma velocipede e freccia direzionale lungo il percorso
SEGNALETICA VERTICALE	 
TIPO DI PAVIMENTAZIONE	Autobloccanti

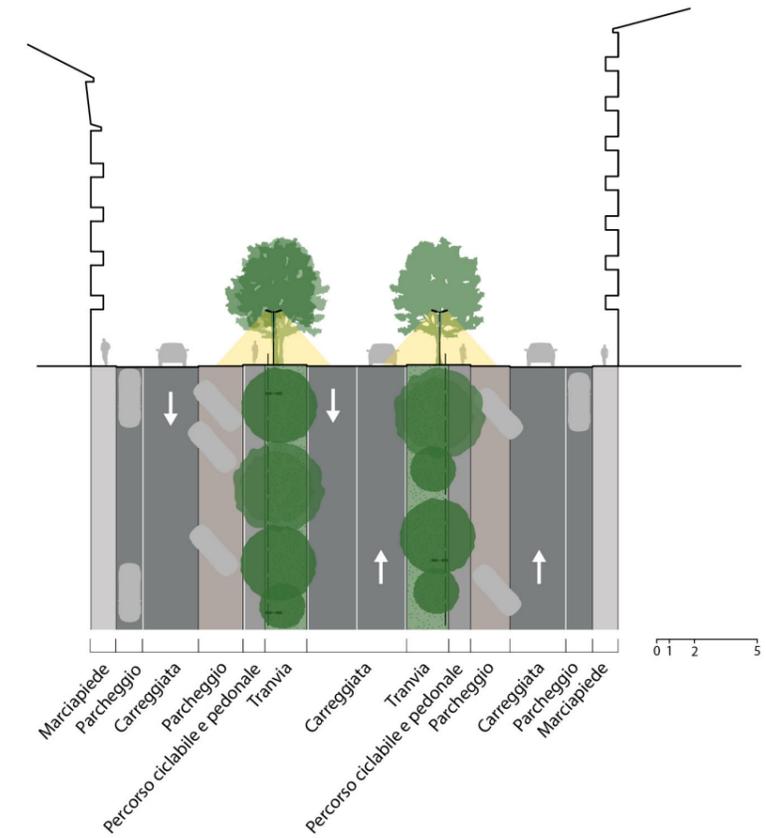


II. Inquadramento (Corso Re Umberto, civici 38-40)



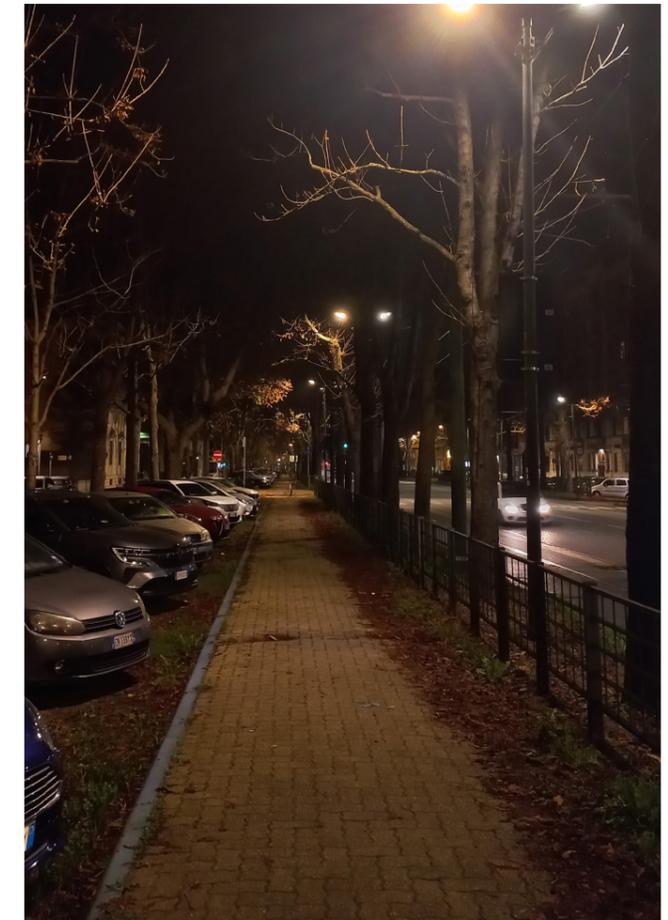
III. Relazione con il sistema di illuminazione

Illuminazione pista e strada



Sezione A-A'

IV. Rilievo fotografico



SISTEMA DI ILLUMINAZIONE

I. Informazioni generali

MODELLO	ITALO2/C VIALI - AEC Illuminazione
TIPO DI APPARECCHIO	Apparecchio con piastra a LED
TIPO DI SOSTEGNO	Palo troncoconico
TIPO DI IMPIANTO	Impianto di derivazione

II. Caratteristiche geometriche

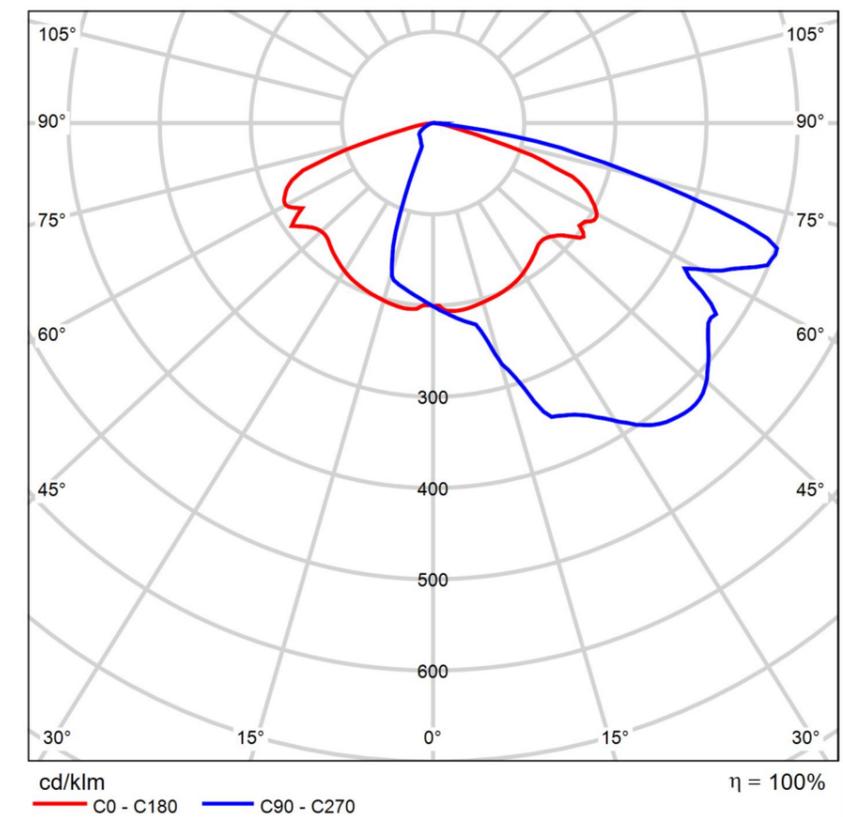
TIPOLOGIA DI MONTAGGIO	Testa- palo
DISPOSIZIONE APPARECCHIO	Doppia
ALTEZZA DA TERRA [m]	7
DISTANZA TRA GLI APPARECCHI [m]	18.7



III. Parametri prestazionali

Flusso luminoso emesso dalla sorgente [lm]	14250
Potenza [W]	139
Efficienza luminosa [lm/W]	102.5
Temperatura di colore correlata [K]	3000
Indice di resa cromatica [-]	dato non disponibile

VI. Curva fotometrica



Scheda 8. Corso Francia

PISTA CICLABILE

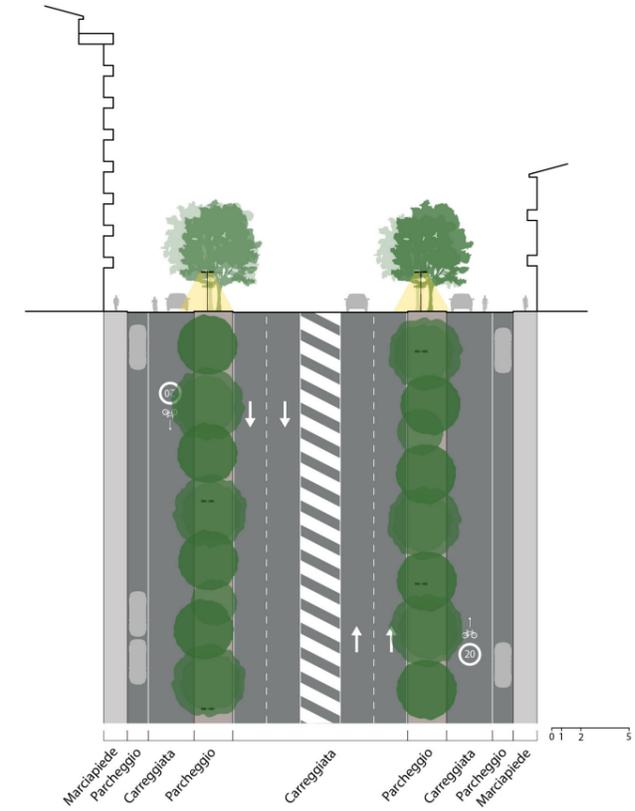
I. Dati generali

TIPO DI PISTA	Percorso ciclabile e veicolare
LARGHEZZA [m]	5.9
SENSO DI MARCIA	Monodirezionale
POSIZIONE RISPETTO ALLA CARREGGIATA STRADALE	Carreggiata condivisa da veicoli e ciclisti
ELEMENTO SEPARATORE VERSO LA STRADA	-
SEGNALETICA ORIZZONTALE	Pittogramma velocipede e freccia direzionale, limite di velocità
SEGNALETICA VERTICALE	-
TIPO DI PAVIMENTAZIONE	Asfalto

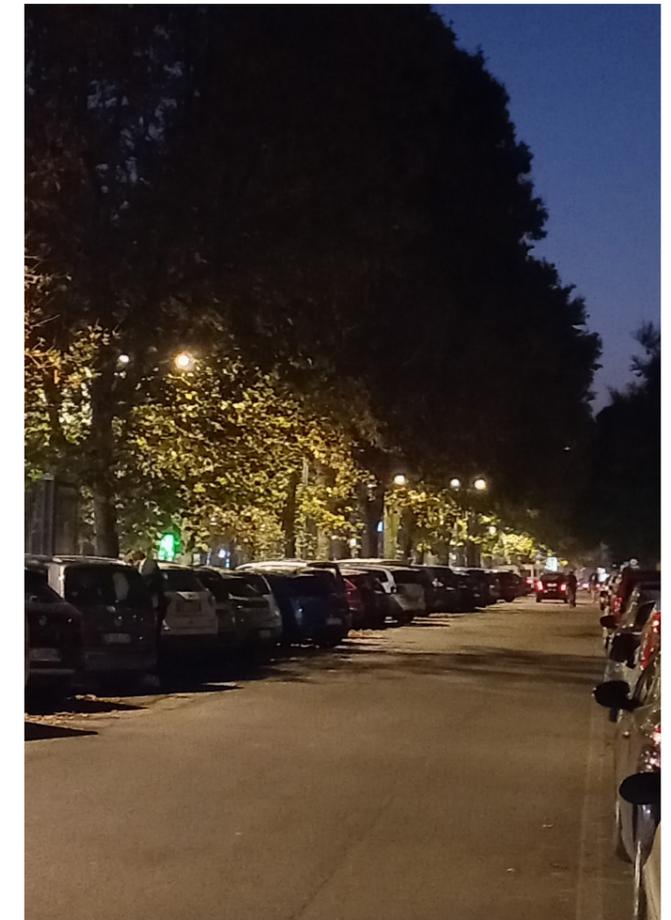


III. Relazione con il sistema di illuminazione

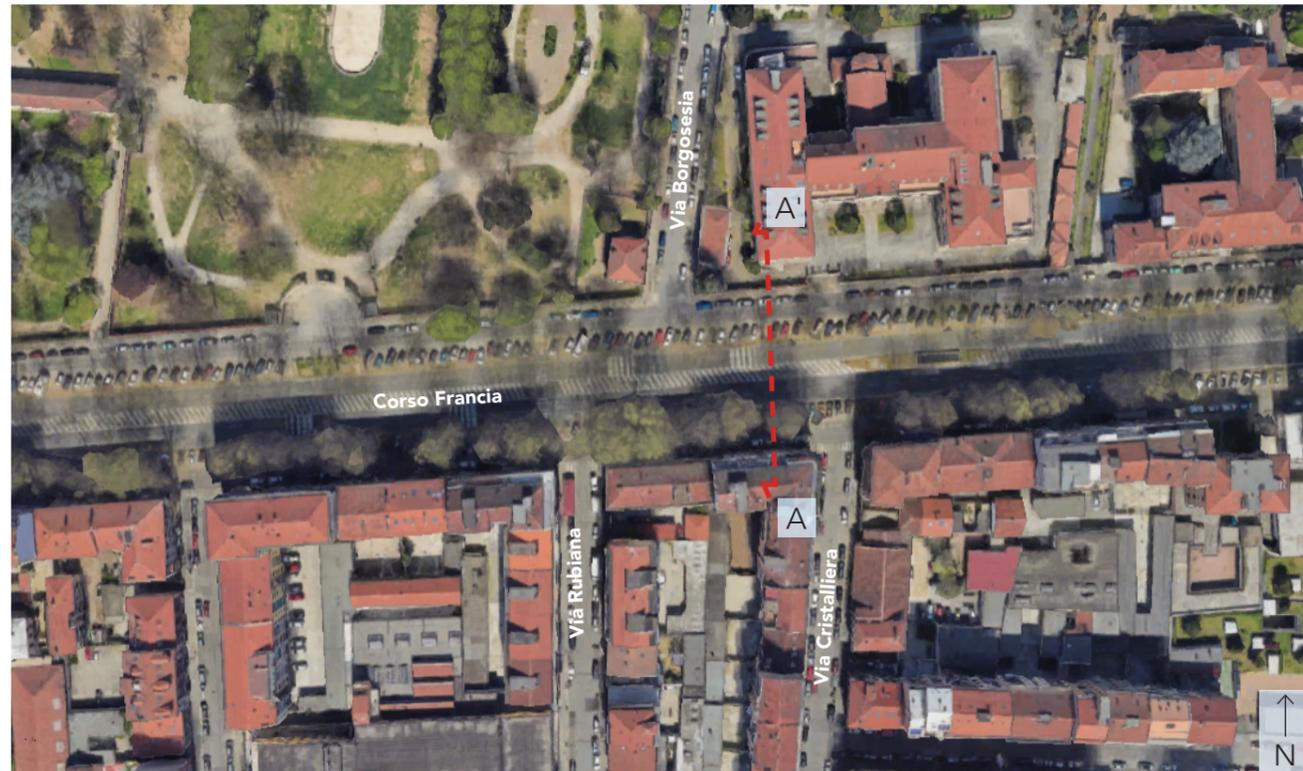
Illuminazione pista e strada



IV. Rilievo fotografico



II. Inquadramento (Corso Francia, civico 173)



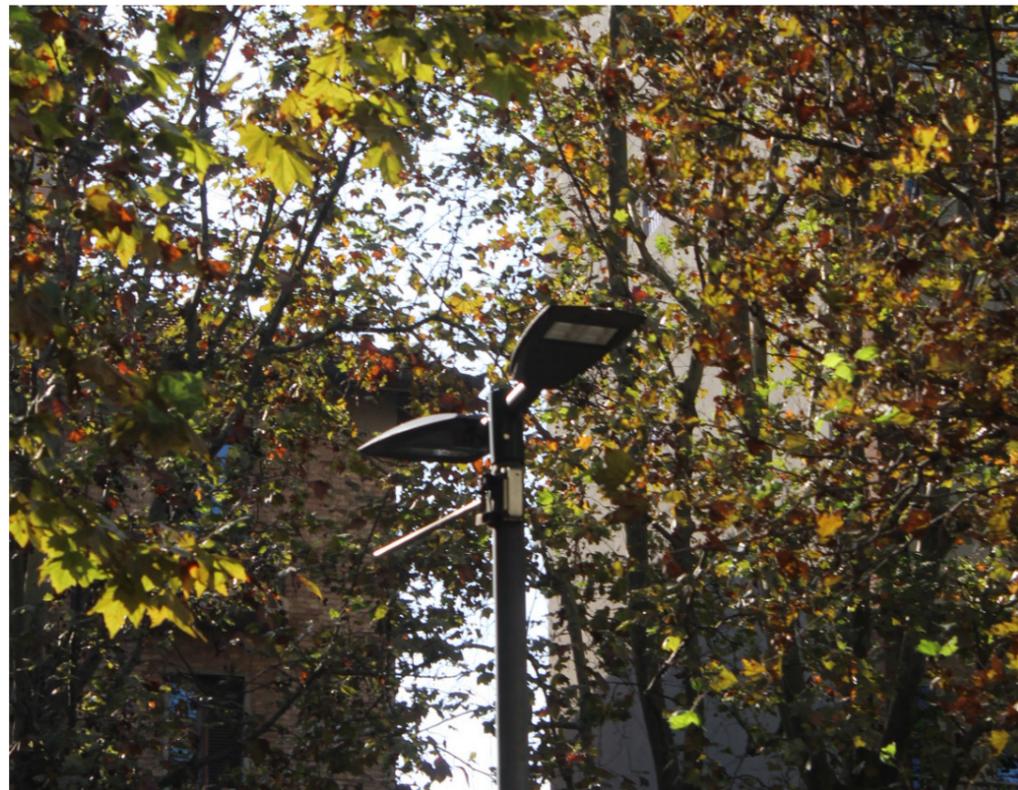
SISTEMA DI ILLUMINAZIONE

I. Informazioni generali

MODELLO	ITALO1/A VIALI - AEC Illuminazione
TIPO DI APPARECCHIO	Apparecchio con piastra a LED
TIPO DI SOSTEGNO	Palo
TIPO DI IMPIANTO	Impianto di derivazione

II. Caratteristiche geometriche

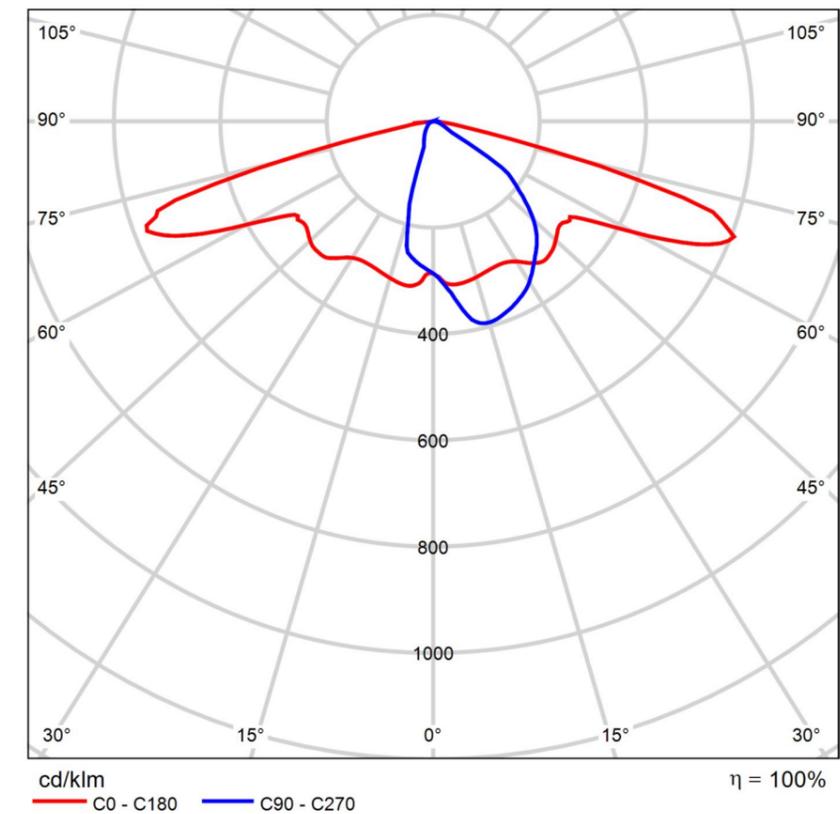
TIPOLOGIA DI MONTAGGIO	Testa- palo
DISPOSIZIONE APPARECCHIO	Doppia
ALTEZZA DA TERRA [m]	7
DISTANZA TRA GLI APPARECCHI [m]	24.0



III. Parametri prestazionali

Flusso luminoso emesso dalla sorgente [lm]	3910
Potenza [W]	41.5
Efficienza luminosa [lm/W]	94.2
Temperatura di colore correlata [K]	3000
Indice di resa cromatica [-]	dato non disponibile

VI. Curva fotometrica

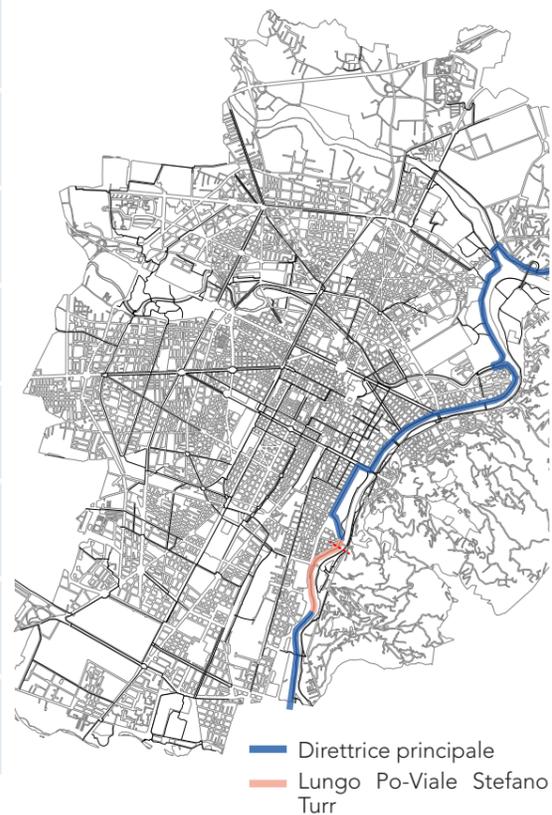


Scheda 9. Parco del Valentino - lungo Po

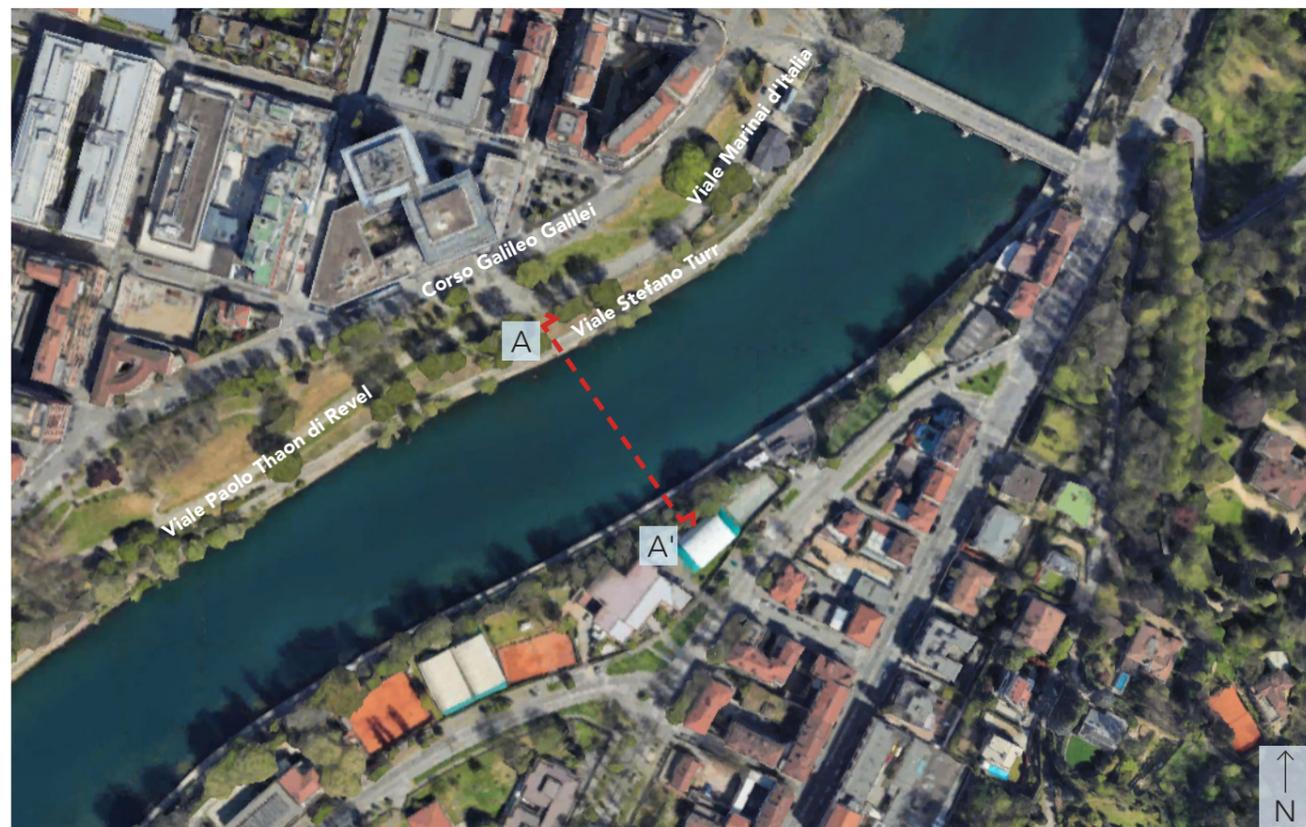
PISTA CICLABILE

I. Dati generali

TIPO DI PISTA	Percorso ciclabile nel verde
LARGHEZZA [m]	3.6
SENSO DI MARCIA	Bidirezionale
POSIZIONE RISPETTO ALLA CARREGGIATA STRADALE	-
ELEMENTO SEPARATORE VERSO LA STRADA	-
SEGNALETICA ORIZZONTALE	-
SEGNALETICA VERTICALE	 
TIPO DI PAVIMENTAZIONE	Asfalto

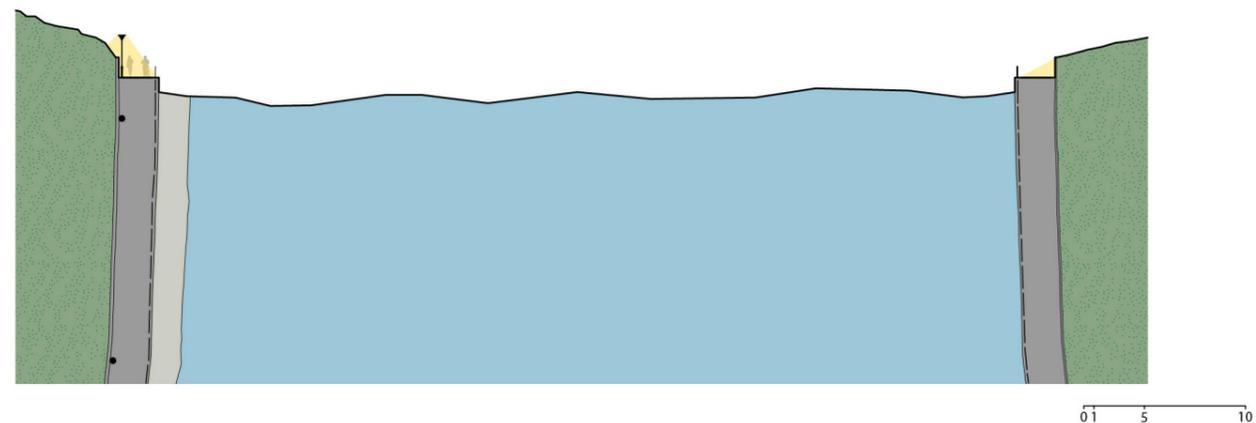


II. Inquadramento (Viale Stefano Turr)



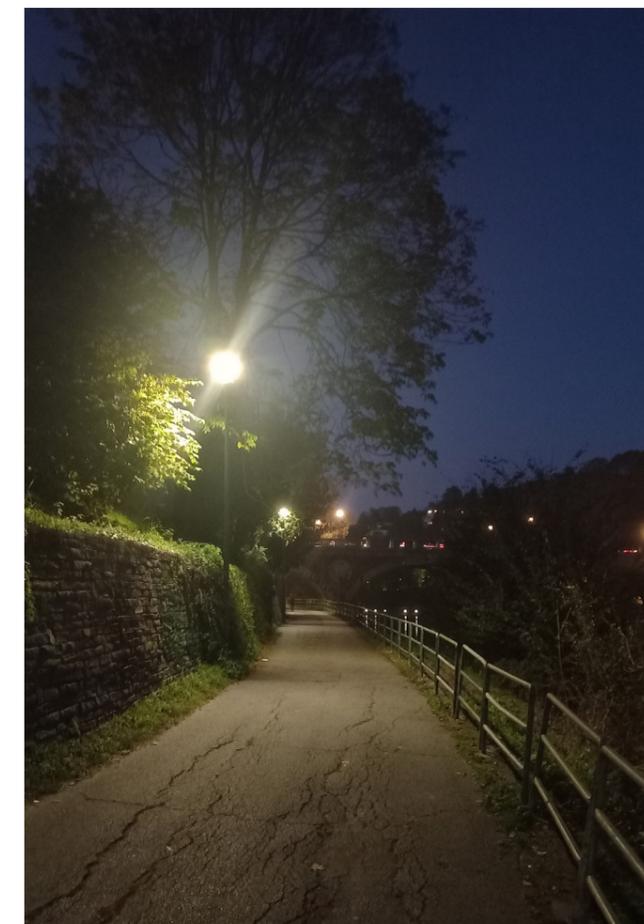
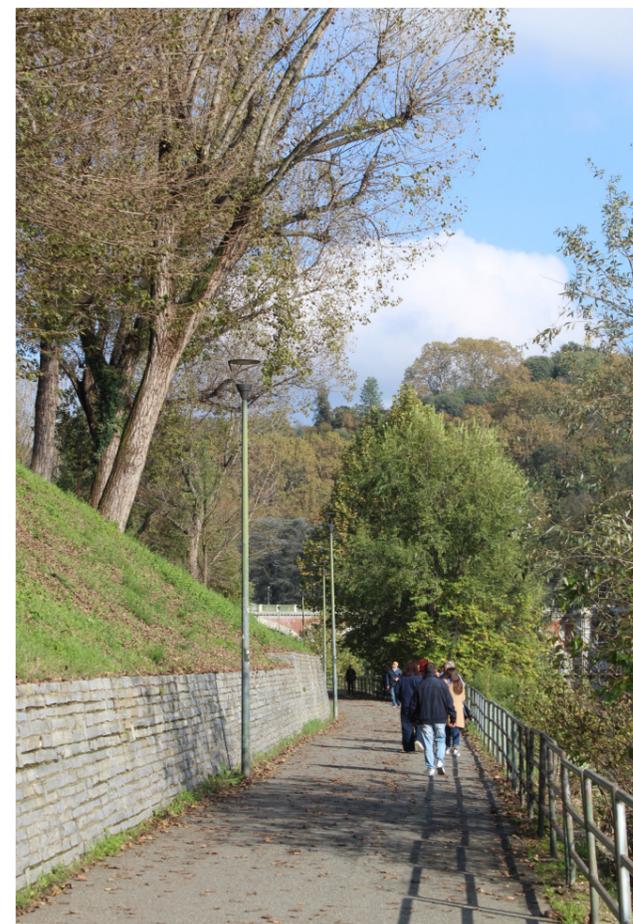
III. Relazione con il sistema di illuminazione

Illuminazione dedicata



Sezione A-A'

IV. Rilievo fotografico



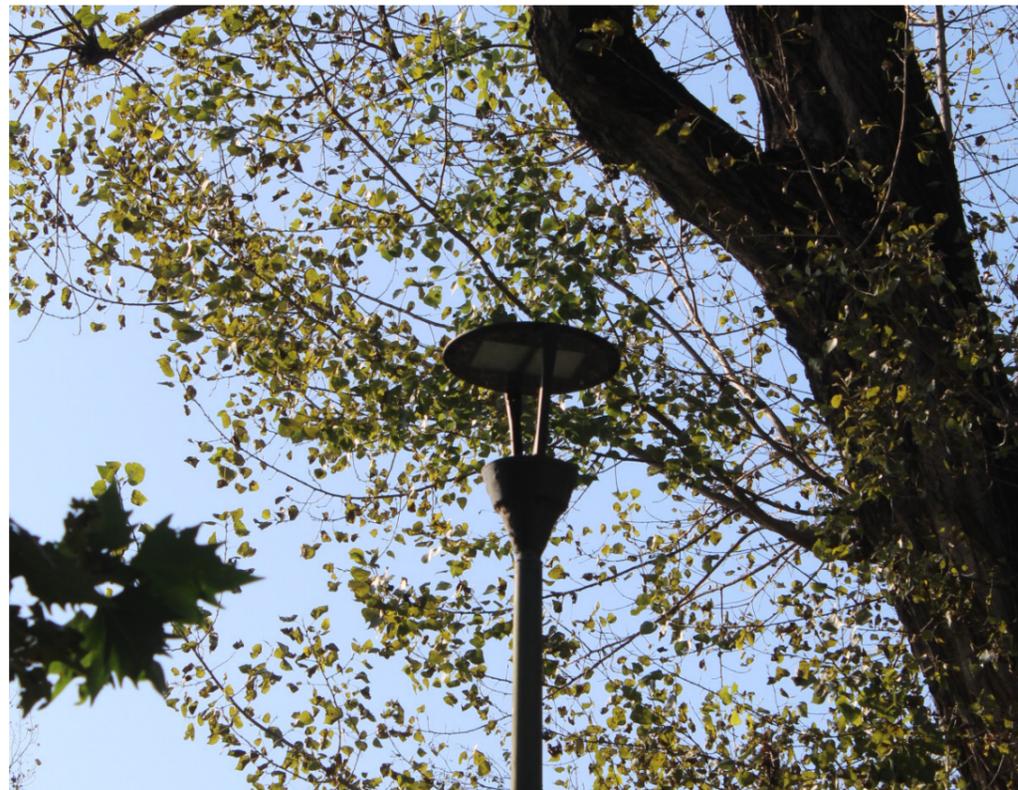
SISTEMA DI ILLUMINAZIONE

I. Informazioni generali

MODELLO	Kalos - Cariboni Group
TIPO DI APPARECCHIO	Apparecchio con piastra a LED
TIPO DI SOSTEGNO	Paletto da giardino
TIPO DI IMPIANTO	Impianto di derivazione

II. Caratteristiche geometriche

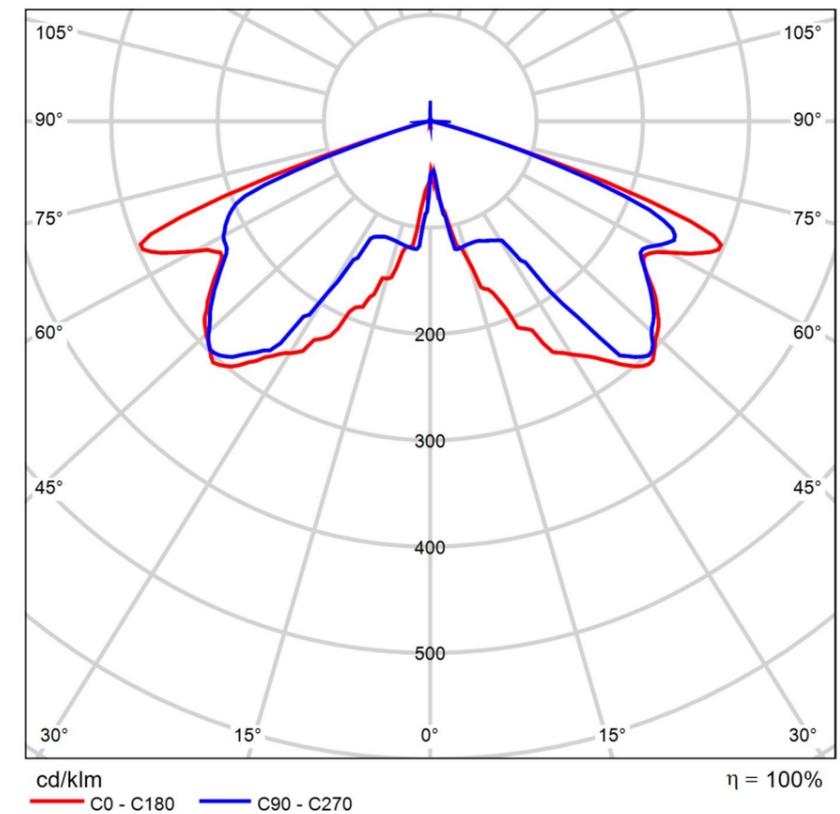
TIPOLOGIA DI MONTAGGIO	Testa- palo
DISPOSIZIONE APPARECCHIO	Singola
ALTEZZA DA TERRA [m]	5.6
DISTANZA TRA GLI APPARECCHI [m]	25.4



III. Parametri prestazionali

Flusso luminoso emesso dalla sorgente [lm]	3486
Potenza [W]	39.5
Efficienza luminosa [lm/W]	88.2
Temperatura di colore correlata [K]	4000
Indice di resa cromatica [-]	70

VI. Curva fotometrica



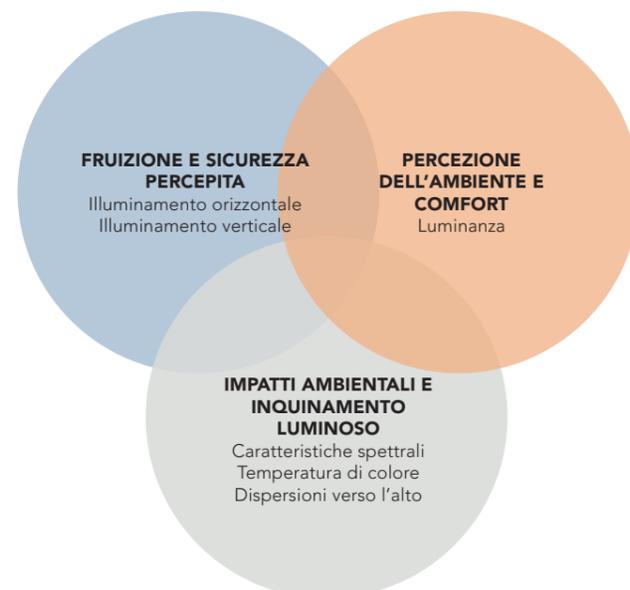
6. Indagine sperimentale in campo

6.1 Obiettivo dell'analisi sperimentale

La finalità principale della fase sperimentale è quella di esplorare le **potenzialità e criticità** dei sistemi di illuminazione esistenti adottati lungo le piste ciclabili selezionate a Torino. I parametri che devono essere presi in considerazione per la progettazione di impianti di illuminazione specifici per le piste ciclabili o per la verifica di impianti esistenti sono legati ad aspetti normativi, ambientali, per contrastare gli effetti negativi dell'illuminazione elettrica sugli ecosistemi, e funzionali nei confronti dell'uomo per lo svolgimento delle proprie attività e per rendere più sicuri gli spostamenti. Un sistema di illuminazione efficiente deve trovare un equilibrio tra il rispetto delle esigenze normative, le necessità ambientali e quelle degli utenti, assicurando condizioni ottimali per la percezione dello spazio e la visibilità notturna.

La ricerca bibliografica preliminare ha approfondito il rapporto tra luce elettrica e tre soggetti fondamentali: l'uomo, l'ambiente e il sistema normativo. A partire da questi ambiti, che guidano la fase di analisi sperimentale e di elaborazione dei dati, sono stati definiti i requisiti illuminotecnici necessari per assicurare la fruibilità e la sicurezza percepita, i parametri che garantiscono la percezione dell'ambiente e il comfort visivo e quelli rivolti alla limitazione degli impatti sull'ambiente e gli ecosistemi.

La non conformità rispetto questi parametri compromette l'efficacia dell'illuminazione stradale, impedendole di adempiere al suo obiettivo principale: garantire la sicurezza degli utenti e fornire condizioni di visibilità ottimali per lo svolgimento delle attività nelle ore notturne.



6.2 Identificazione dei sedimi oggetto di analisi

Terminata la fase di introduzione e conoscenza del caso studio, che ha generato come esito 9 schede descrittive riferite alle piste ciclabili rappresentative, si è proceduto alla selezione di quattro tratti ciclabili per lo svolgimento di un'indagine sperimentale in campo finalizzata all'acquisizione di dati.

La scelta è stata basata su una combinazione dei fattori e delle caratteristiche considerate nella precedente analisi conoscitiva, inoltre, sono stati evitati i tratti in cui era presente il contributo di altre fonti luminose, ad esempio incroci, attraversamenti o tratti nelle vicinanze di insegne e negozi.

		Sistema di illuminazione		
		Illuminazione dedicata	Illuminazione pista e strada	Illuminazione non dedicata
Tipologia di pista ciclabile	Pista in sede propria	Corso Castelfidardo	Corso Principe Oddone	Corso Monte Grappa
	Pista in corsia riservata	Corso Traiano	Via Nizza	Via Pio VII
	Percorso ciclabile e pedonale	-	Corso Re Umberto	-
	Percorso ciclabile e veicolare	-	Corso Francia	-
	Percorsi ciclabili nel verde	Parco del Valentino	-	-

Fig. 1
Piste ciclabili scelte come casi per le analisi, elaborazione personale

Sono stati scelti come riferimento per le analisi sperimentali i seguenti sedimi:

- **Corso Castelfidardo:** Questa pista è stata scelta poiché si sviluppa in sede propria e presenta un'illuminazione dedicata, rappresentando l'esempio ideale di pista ciclabile. Inoltre, si estende lungo un'asse che attraversa diversi punti di interesse come la stazione di porta Susa e il Politecnico di Torino, risultando una delle piste più frequentate della città.
- **Corso Re Umberto:** Questo tratto è stato selezionato poiché rappresenta uno dei pochi esempi di percorso condiviso tra ciclisti e pedoni e presenta un sistema di illuminazione dedicato al percorso ciclabile e alla carreggiata stradale.
- **Via Pio VII:** Questo tratto è stato scelto poiché gli apparecchi stradali sono completamente rivolti verso la carreggiata stradale e non sono presenti apparecchi a LED, ma delle sorgenti a scarica. In questo modo è possibile evidenziare le possibili criticità legate a questa tipologia di impianto di illuminazione e alla configurazione della pista.
- **Parco del Valentino (lungo Po):** Questo tratto ciclabile lungo il fiume Po è stato selezionato poiché rappresenta un esempio significativo di pista ciclabile immersa nel verde, tipologia ciclabile molto diffusa nella città di Torino, fornendo un quadro più completo dei percorsi che si estendono anche oltre il contesto urbano.

6.3 Procedure di misura

La fase successiva ha previsto la presa in campo delle misure, supportata dalla definizione di una griglia di punti. Per ogni tratto è stata considerata l'interdistanza tra due apparecchi e quest'ultima è stata suddivisa in 10 tratti e 11 punti, posizionati al centro della corsia, in corrispondenza dei quali sono state effettuate le misure. In particolare sono stati rilevati:

- gli illuminamenti orizzontali, $E_h[lx]$;
- gli illuminamenti verticali, $E_v[lx]$;
- gli spettri luminosi;
- le immagini di luminanza, $L [cd/m^2]$.

Infine, i dati ricavati dalla fase di misurazione sono stati rielaborati attraverso dei grafici e tabelle Excel in modo tale da essere confrontati con i requisiti illuminotecnici definiti da normativa e i parametri estrapolati dalle letture scientifiche riguardo i temi dell'illuminazione per le piste ciclabili.

Grandezze rilevate	Strumentazione	Modalità di presa
Illuminamenti orizzontali	Luxmetro	Rilevati in tutti i punti della griglia posizionando la sonda in corrispondenza del terreno
Illuminamenti verticali	Luxmetro	Rilevati in ogni punto e in entrambi i sensi di marcia a circa 1.5 m da terra
Spettri luminosi	Spettrofotometro	Rilevati all'inizio, nella metà e alla fine del tratto considerato. Inoltre è stato rilevato lo spettro sotto uno dei due apparecchi più vicino possibile alla fonte luminosa.
Valori di luminanza	Videofotometro	Immagini di luminanza nelle due direzioni ad una distanza sufficiente per comprendere l'intero tratto ciclabile e i due apparecchi considerati. Successivamente le immagini sono state elaborate dal software LMK Soft Lab tramite il quale è stato possibile estrarre i valori di luminanza medi, minimi e massimi associati alle diverse superfici.

Tabella. 1
Tabella riassuntiva riguardo le procedure di misura

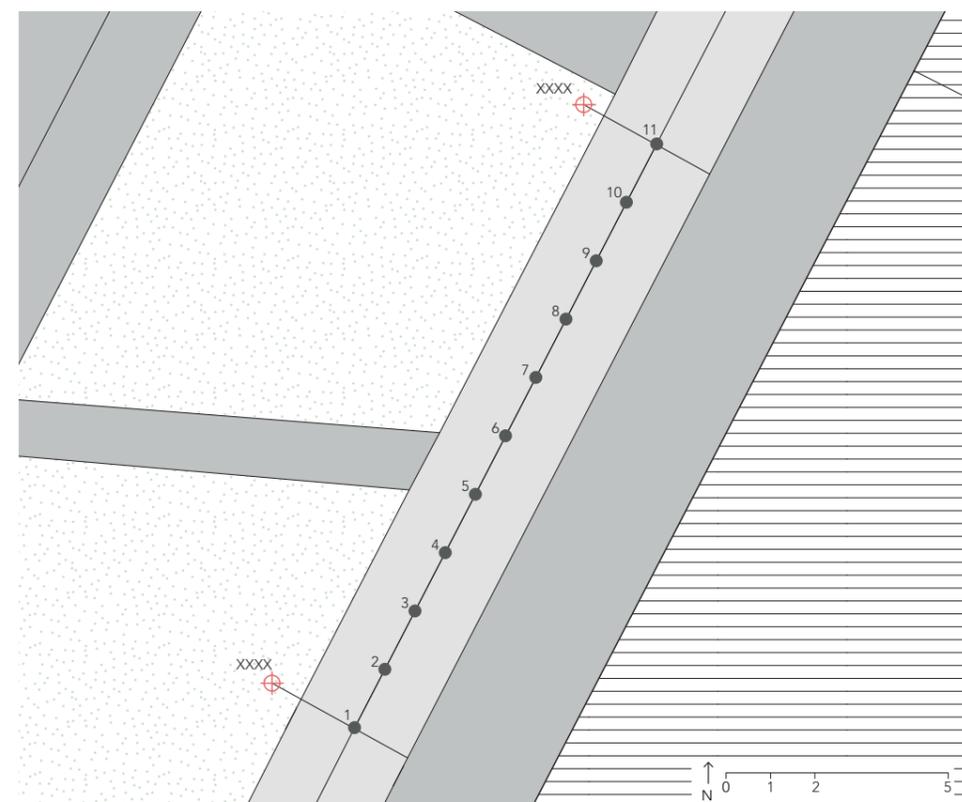
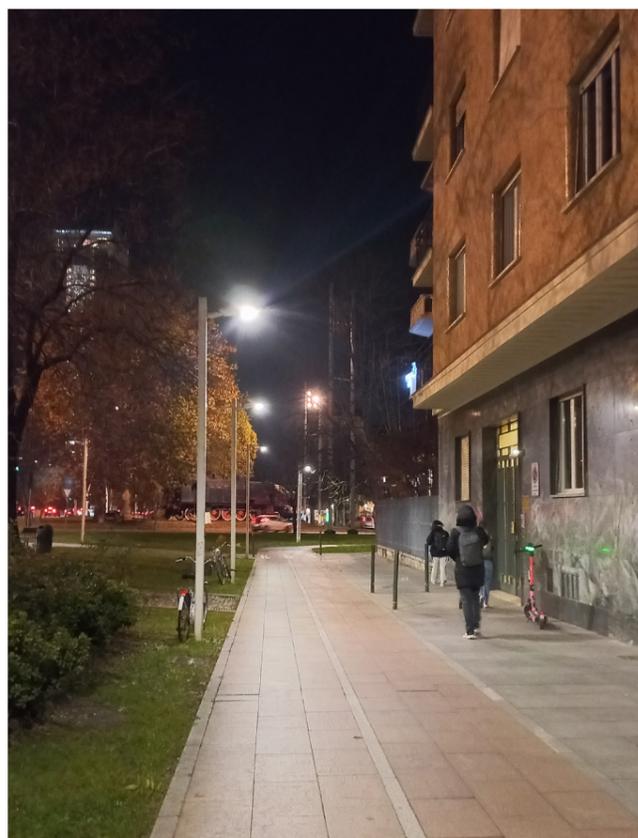


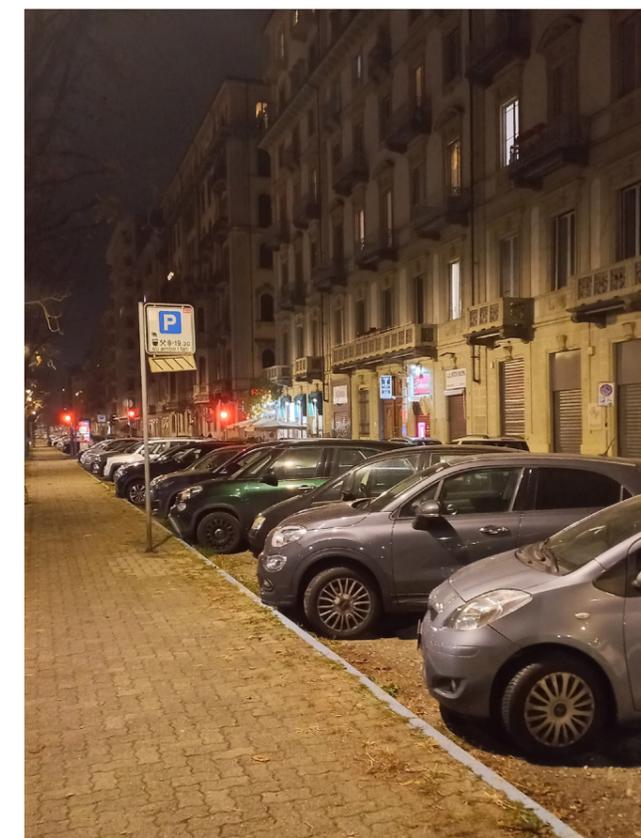
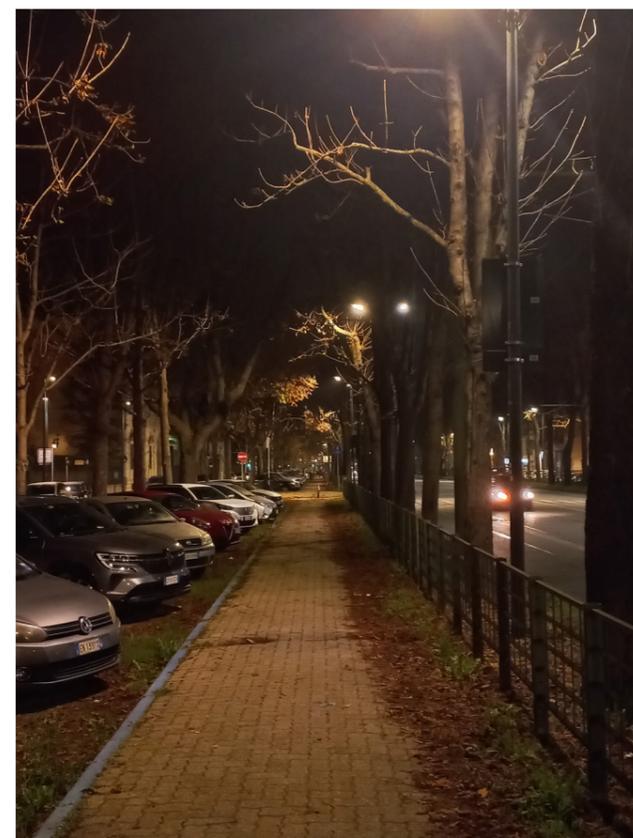
Fig. 2
Esempio di griglia per le misurazioni, elaborazione personale

SCHEDE DI RILEVAMENTO

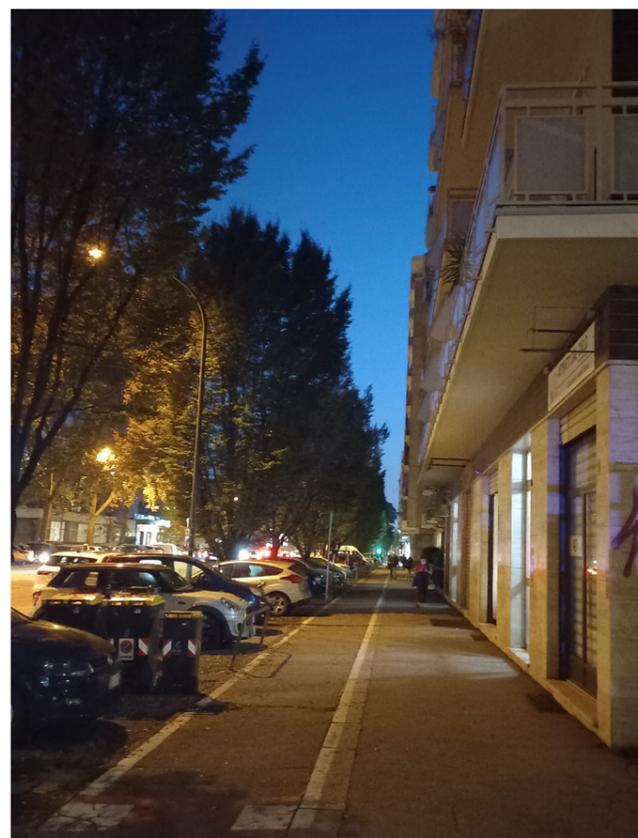
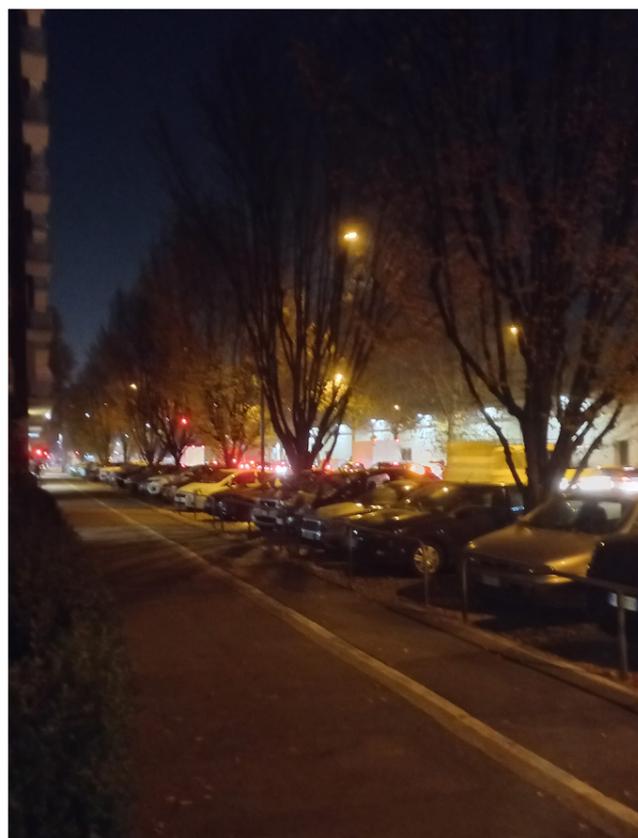
Nome del sito	Corso Castelfidardo
Rilievo	
Data	05/12/2024
Ora	17.45
Condizioni ambientali	
Condizioni meteorologiche	Le condizioni meteorologiche al momento della rilevazione erano ottimali. Il cielo era sereno, senza presenza di nuvole o nebbia. Non si sono registrate precipitazioni.
Manto stradale	
Tipologia	Materiale lapideo colorato
Stato d'usura	La pavimentazione presenta lievi segni di usura e alcune mattonelle risultano danneggiate.
Condizioni	Asciutto
Impianto	
Identificazione apparecchi	
Codici apparecchi	CG65, CG67
Tipologia di sorgente	LED
Stato manutenzione apparecchi	Ottimo. Tutti gli apparecchi sono funzionanti e non presentano segni di usura.
Contributi luminosi esterni	L'illuminazione della pista ciclabile è influenzata dalla presenza degli apparecchi di illuminazione stradale.
Ostruzione alla luce	Non sono state rilevate ostruzioni.



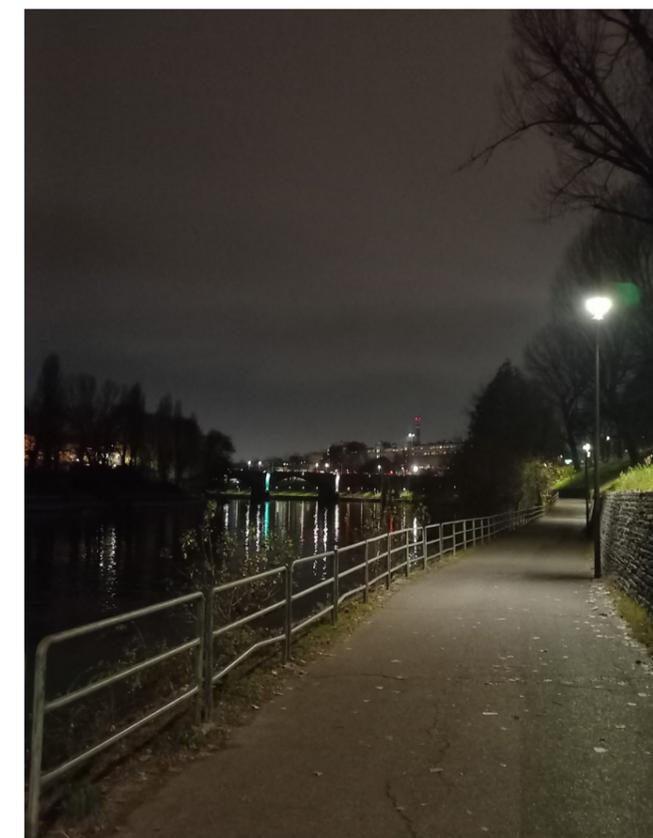
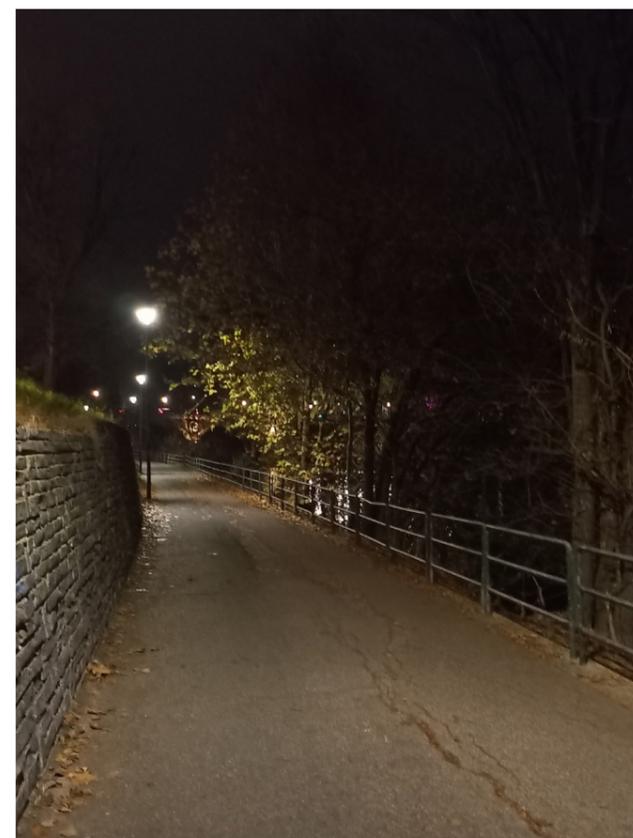
Nome del sito	Corso Re Umberto
Rilievo	
Data	09/12/2024
Ora	20.10
Condizioni ambientali	
Condizioni meteorologiche	Al momento della misurazione il cielo era parzialmente coperto, con nuvolosità diffusa e lievi piogge intermittenti. Non erano presenti vento o nebbia, garantendo comunque una buona visibilità.
Manto stradale	
Tipologia	Autobloccanti
Stato d'usura	La pavimentazione risulta non uniforme e irregolare con evidenti dissestamenti.
Condizioni	Umido
Impianto	
Identificazione apparecchi	
Codici apparecchi	RB78, RB80
Tipologia di sorgente	LED
Stato manutenzione apparecchi	Ottimo. Tutti gli apparecchi sono funzionanti e non presentano segni di usura.
Contributi luminosi esterni	Sono presenti contributi luminosi esterni dovuti ai fari delle automobili, ai semafori e alle luci dei negozi.
Ostruzione alla luce	La presenza degli alberi impedisce la diffusione della luce verso la pista ciclabile in alcune zone.



Nome del sito	Via Pio VII
Rilievo	
Data	06/12/2024
Ora	18.20
Condizioni ambientali	
Condizioni meteorologiche	Le condizioni meteorologiche al momento della rilevazione erano ottimali. Il cielo era sereno, senza presenza di nuvole o nebbia. Non si sono registrate precipitazioni.
Manto stradale	
Tipologia	Asfalto
Stato d'usura	La pavimentazione presenta lievi segni di usura e alcune crepe.
Condizioni	Asciutto
Impianto	
Identificazione apparecchi	
Codici apparecchi	PM68, PM70
Tipologia di sorgente	Sorgenti a scarica a vapori di sodio
Stato manutenzione apparecchi	Buono
Contributi luminosi esterni	In alcuni tratti sono presenti diversi contributi luminosi esterni, dovuti all'illuminazione degli ingressi dei palazzi e alle luci dei negozi.
Ostruzione alla luce	La presenza degli alberi impedisce la diffusione della luce verso il percorso ciclabile.



Nome del sito	Parco del Valentino-Lungo Po
Rilievo	
Data	09/12/2024
Ora	19.00
Condizioni ambientali	
Condizioni meteorologiche	Al momento della misurazione il cielo era parzialmente coperto, con nuvolosità diffusa e lievi piogge intermittenti. Non erano presenti vento né nebbia, garantendo comunque una buona visibilità.
Manto stradale	
Tipologia	Asfalto
Stato d'usura	La pavimentazione risulta non uniforme e irregolare con evidenti crepe e dissestamenti.
Condizioni	Umido
Impianto	
Identificazione apparecchi	
Codici apparecchi	MUL10, MUL11
Tipologia di sorgente	LED
Stato manutenzione apparecchi	Ottimo. Tutti gli apparecchi sono funzionanti e non presentano segni di usura.
Contributi luminosi esterni	In alcuni tratti sono presenti i contributi luminosi degli apparecchi di illuminazione stradale.
Ostruzione alla luce	La presenza della vegetazione impedisce la diffusione della luce e crea zone d'ombra lungo alcuni tratti del percorso ciclabile.



6.4 Esiti dell'indagine sperimentale

6.4.1 Misure di illuminamento: considerazioni su fruizione e sicurezza percepita

Il primo livello di analisi è legato al soddisfacimento dei requisiti di illuminamento definiti della normativa vigente in materia di illuminazione stradale, la norma UNI 11248:2016 "Illuminazione stradale – Selezione delle categorie illuminotecniche" e la norma "UNI EN 13201-2: Illuminazione stradale – Parte 2: Requisiti prestazionali". Il livello di illuminamento della pavimentazione e dell'ambiente percepito dall'utente influenza la sensazione di sicurezza e la possibilità di fruire dell'infrastruttura.

La conformità dei sistemi di illuminazione per le piste ciclabili deve essere verificata rispetto ai requisiti dell'illuminamento orizzontale medio ($E_{h,m}$) e minimo ($E_{h,min}$) e l'illuminamento verticale minimo ($E_{v,min}$), un requisito aggiuntivo da considerare quando si desidera garantire il riconoscimento facciale.

Per la definizione dei valori minimi di verifica è stato necessario classificare le aree di studio in base alla norma UNI 11248:2016 secondo cui agli itinerari ciclopedonali è associata una **categoria illuminotecnica d'ingresso P2**. Nel caso dei tratti considerati non è necessario individuare due categorie illuminotecniche distinte e ricavare la categoria illuminotecnica di ingresso della pista ciclabile da quella della strada poiché le piste ciclabili non sono adiacenti alla carreggiata.

Fbis	Itinerari ciclo-pedonali	Non dichiarato	P2
	Strade a destinazione particolare	30	

Successivamente, è possibile svolgere l'analisi dei rischi e la valutazione dei parametri di influenza che possono variare o rimanere costanti nel lungo periodo per definire le categorie illuminotecniche di progetto e di esercizio. A scopo cautelativo, non potendo svolgere l'analisi dei rischi che comprenda l'influenza di tutti i parametri, è stato deciso di mantenere la categoria illuminotecnica d'ingresso P2 per lo svolgimento dell'analisi.

Infine, secondo quanto riportato all'interno della norma UNI EN 13201-2, è stato possibile ricavare i requisiti prestazionali richiesti ad un impianto di illuminazione di un pista ciclabile.

CATEGORIA	ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE		REQUISITO AGGIUNTIVO PER IL RICONOSCIMENTO FACCIALE	
	E [minimo mantenuto] [lx]	E_{min} [mantenuto] [lx]	$E_{v,min}$ [mantenuto] [lx]	$E_{sc,min}$ [mantenuto] [lx]
P1	15	3.00	5.0	5.0
P2	10	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
P7	Prestazione non determinata	Prestazione non determinata	-	-

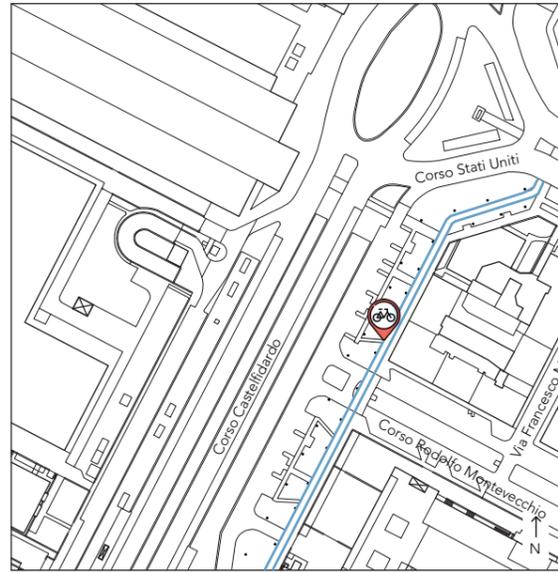
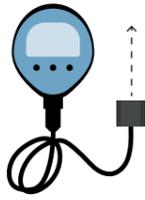
Tabella 3. Classi illuminotecniche P, da UNI EN 13201-2

In seguito all'acquisizione delle misure e la definizione delle categorie illuminotecniche i dati sono stati elaborati e confrontati all'interno di tabelle Excel e i risultati sono stati organizzati attraverso la produzione di grafici e una restituzione grafica in falsi colori.

Tabella 2. Estratto del Prospetto 1 della norma UNI 11248:2016

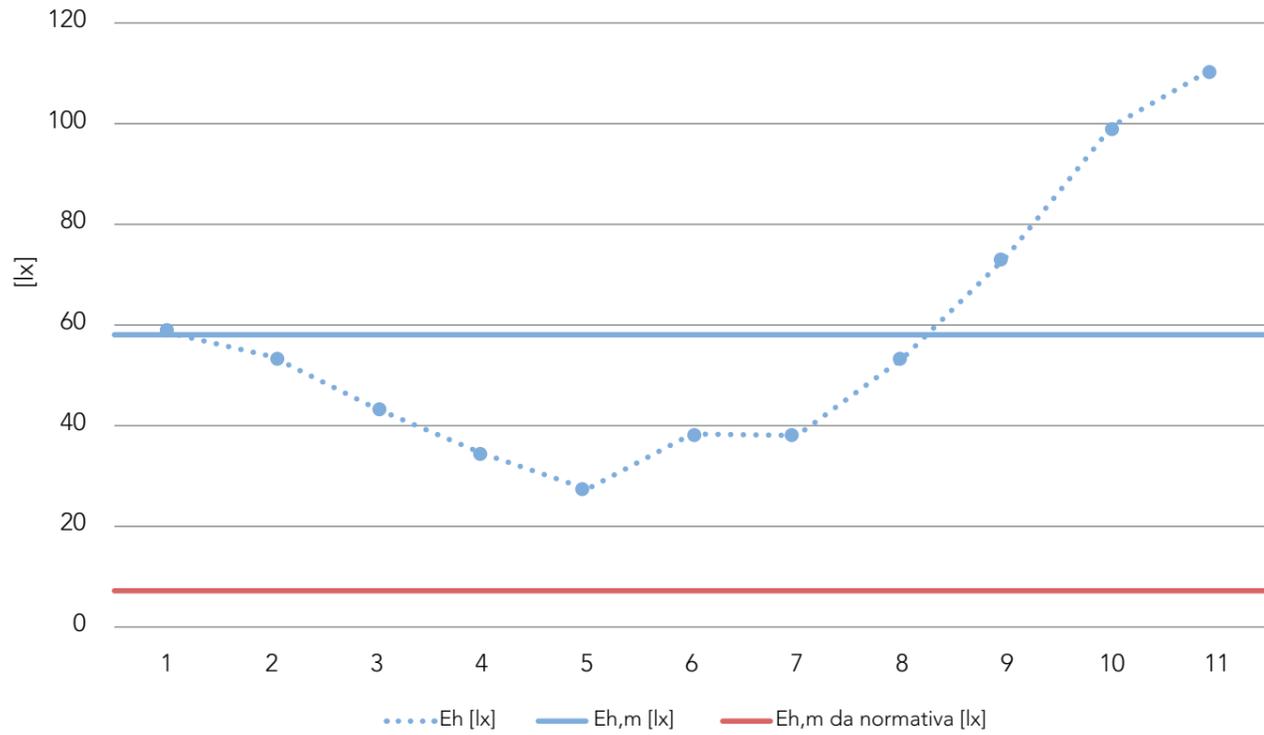
Corso Castelfidardo

Illuminamento orizzontale E_h



Legenda

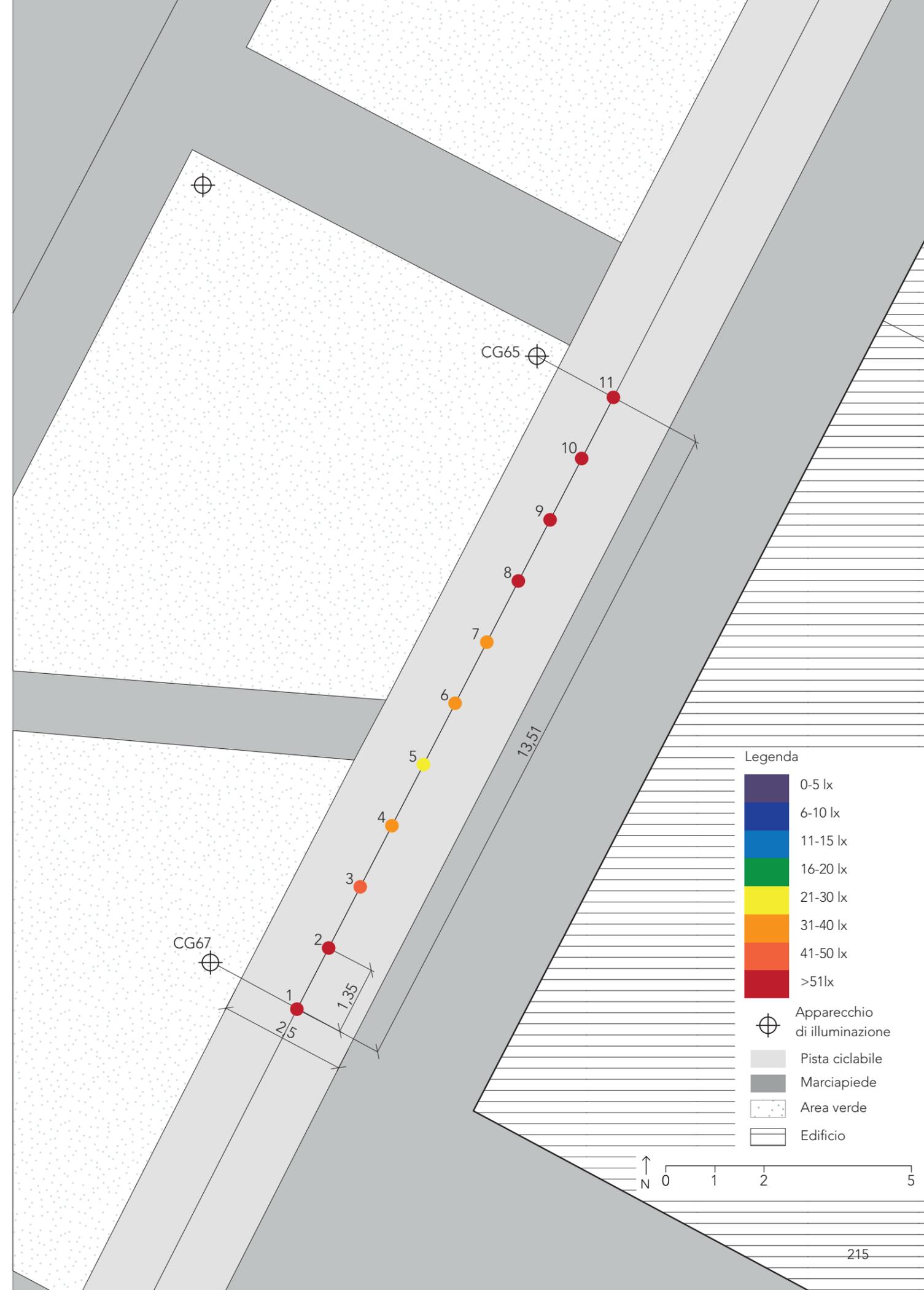
- E_h Illuminamento orizzontale
- $E_{h,m}$ Illuminamento orizzontale medio
- $E_{h,min}$ Illuminamento orizzontale minimo



	Punti lungo Castelfidardo										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E_h [lx]	58.5	53.7	43.3	34.5	27.4	38.3	38.1	53.2	73.7	99.5	111.4

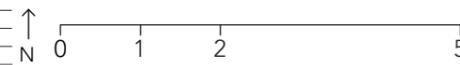
$E_{h,m}$ [lx]	57.4
U_o	0.5

Categoria illuminotecnica	Dati sperimentali		Requisiti da normativa UNI EN 13201-2		
	P2	$E_{h,m}$ [lx]	57.4	> 10	VERIFICATO
	$E_{h,min}$ [lx]	27.4	> 2.0	VERIFICATO	



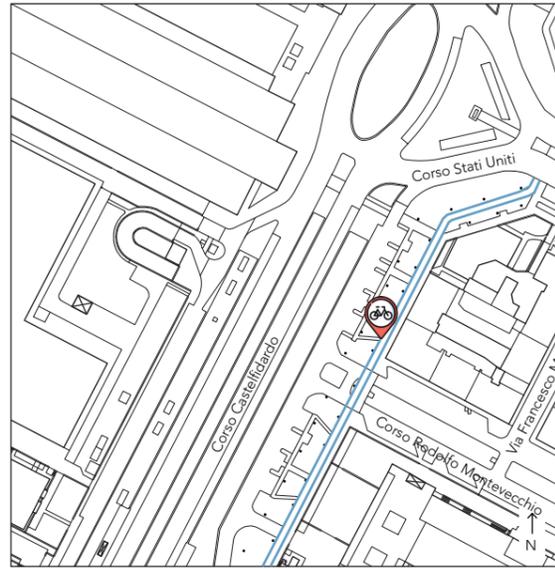
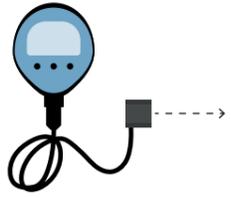
Legenda

- 0-5 lx
- 6-10 lx
- 11-15 lx
- 16-20 lx
- 21-30 lx
- 31-40 lx
- 41-50 lx
- >51lx
- Apparecchio di illuminazione
- Pista ciclabile
- Marcia piede
- Area verde
- Edificio



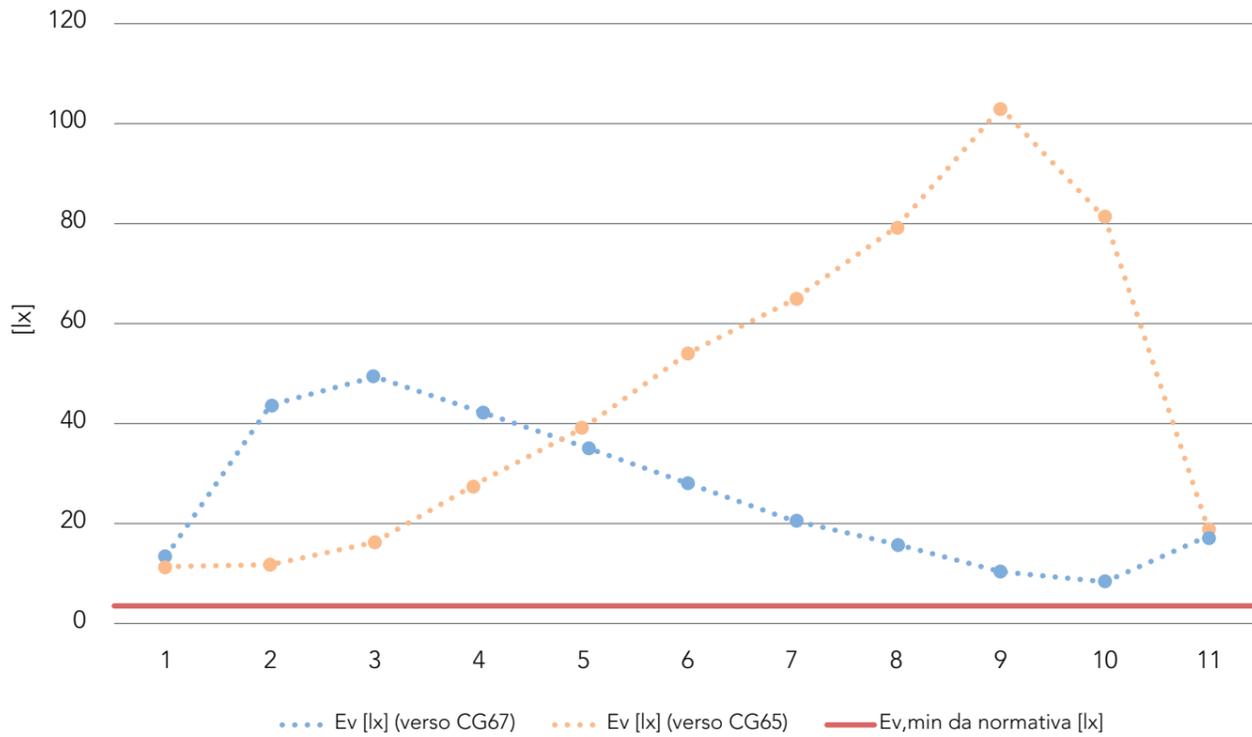
Corso Castelfidardo

Illuminamento verticale Ev



Legenda

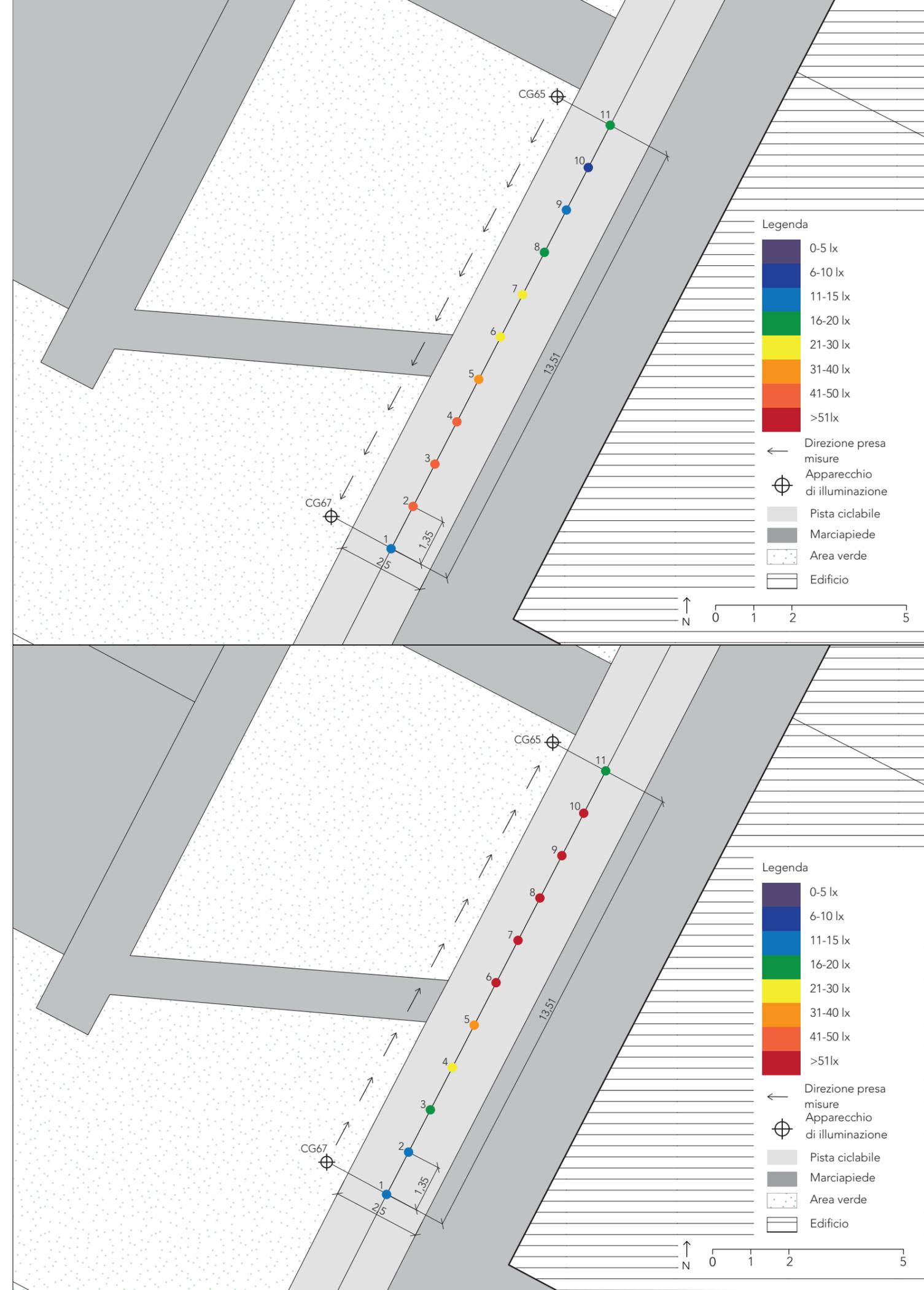
- E_v Illuminamento verticale
- $E_{v,m}$ Illuminamento verticale medio
- $E_{v,min}$ Illuminamento verticale minimo



Punti lungo Castelfidardo											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E_v [lx] (verso CG67)	13.5	43.7	49.3	42.4	35.4	28.1	20.7	15.9	10.4	8.3	17.6
E_v [lx] (verso CG65)	12.5	11.7	16.3	28.2	39.2	54.0	64.6	79.3	103.2	81.0	18.0

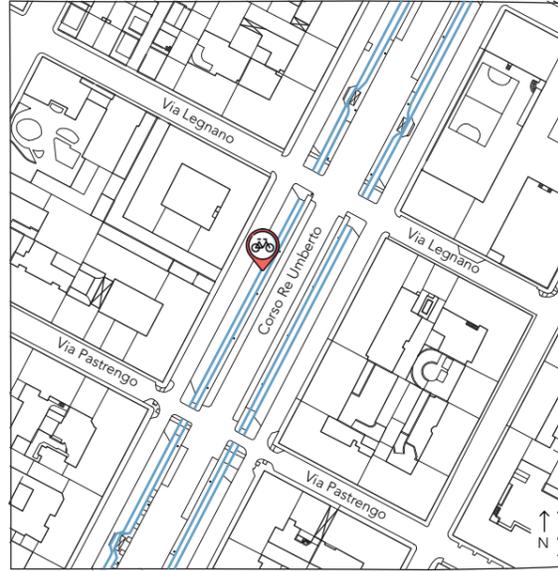
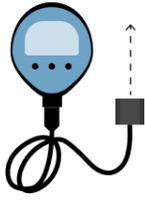
$E_{v,m}$ [lx]	25.9
$E_{v,min}$ [lx]	46.2

Categoria illuminotecnica	Dati sperimentali		Requisiti da normativa UNI EN 13201-2	
P2	$E_{v,min}$ [lx] (verso CG67)	8.3	>3.0	VERIFICATO
	$E_{v,min}$ [lx] (verso CG65)	11.7	> 3.0	VERIFICATO



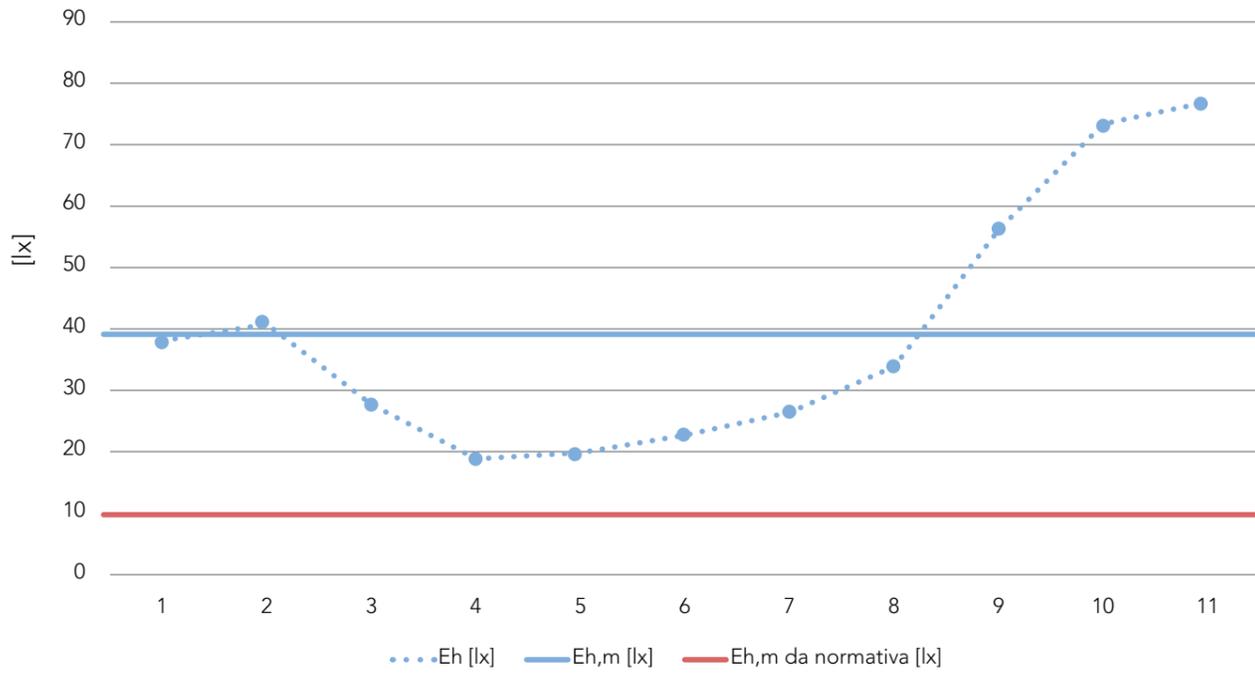
Corso Re Umberto

Illuminamento orizzontale E_h



Legenda

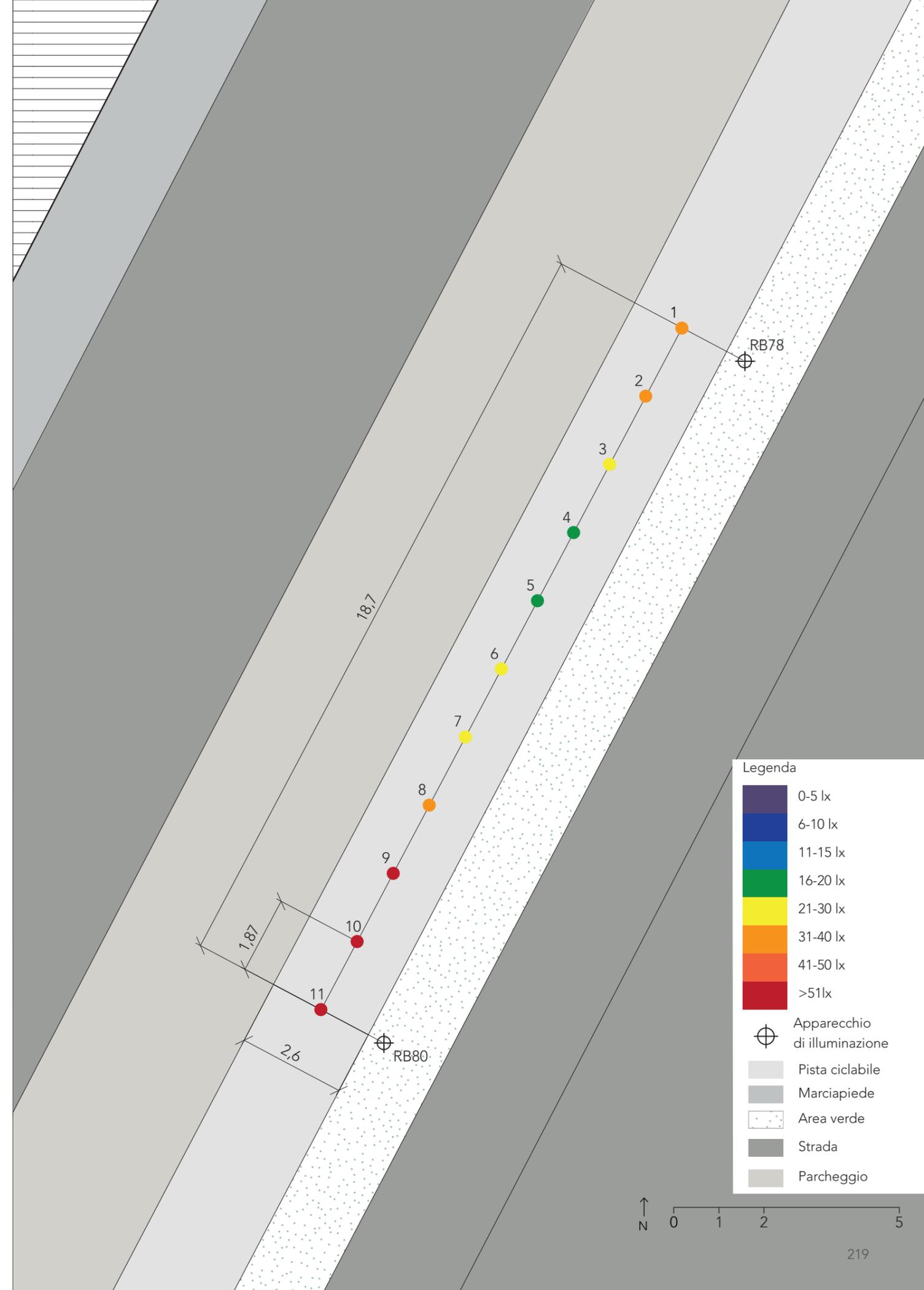
- E_h Illuminamento orizzontale
- $E_{h,m}$ Illuminamento orizzontale medio
- $E_{h,min}$ Illuminamento orizzontale minimo



	Punti lungo Corso Re Umberto										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E_h [lx]	38.8	40.8	27.7	18.8	19.9	22.7	26.4	33.9	56.2	73.4	77.0

$E_{h,m}$ [lx]	39.6
U_o	0.5

Categoria illuminotecnica	Dati sperimentali		Requisiti da normativa UNI EN 13201-2		
	P2	$E_{h,m}$ [lx]	39.6	> 10	VERIFICATO
	$E_{h,min}$ [lx]	18.8	> 2.0	VERIFICATO	



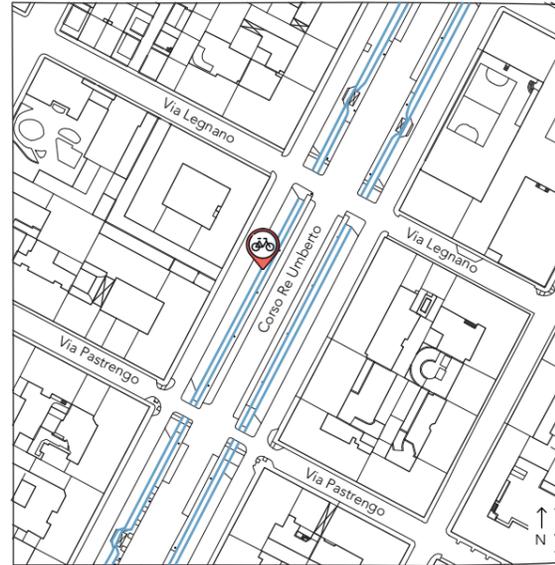
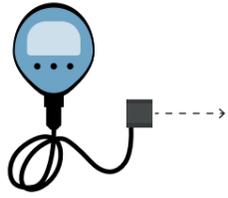
Legenda

- 0-5 lx
- 6-10 lx
- 11-15 lx
- 16-20 lx
- 21-30 lx
- 31-40 lx
- 41-50 lx
- >51 lx
- Apparecchio di illuminazione
- Pista ciclabile
- Marciapiede
- Area verde
- Strada
- Parcheggio



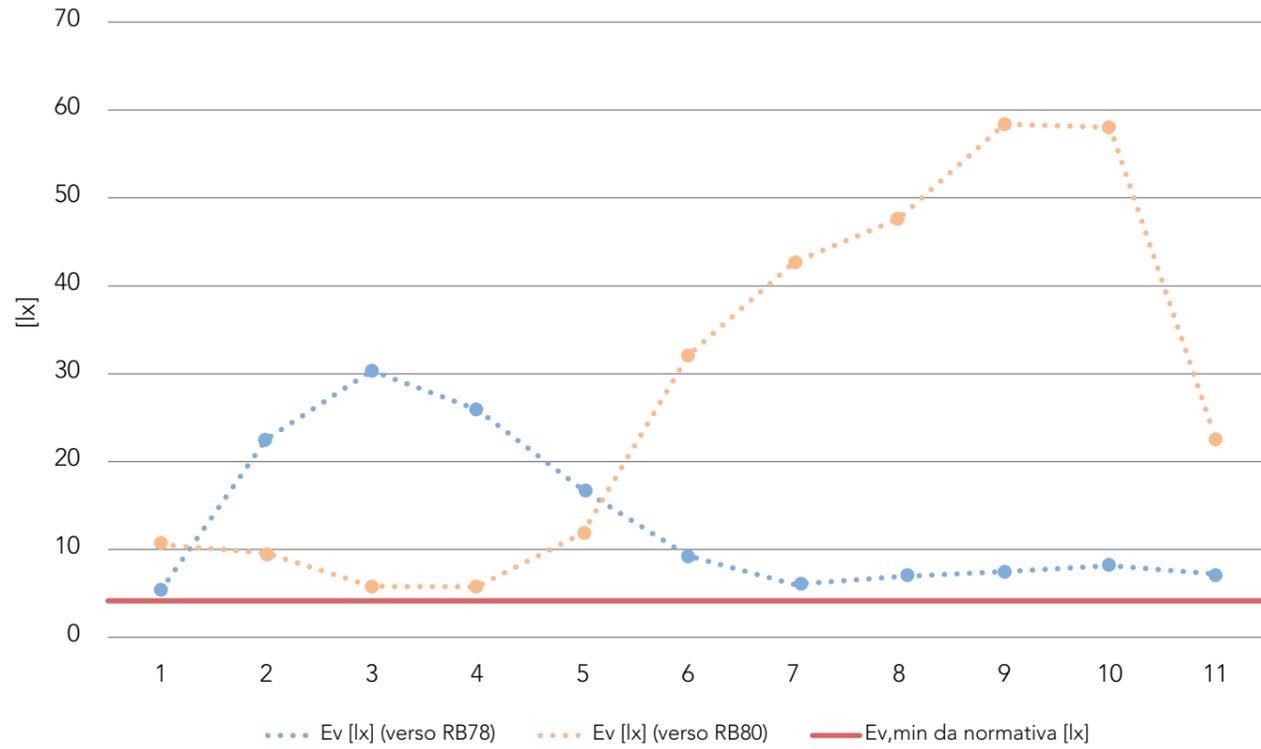
Corso Re Umberto

Illuminamento verticale Ev



Legenda

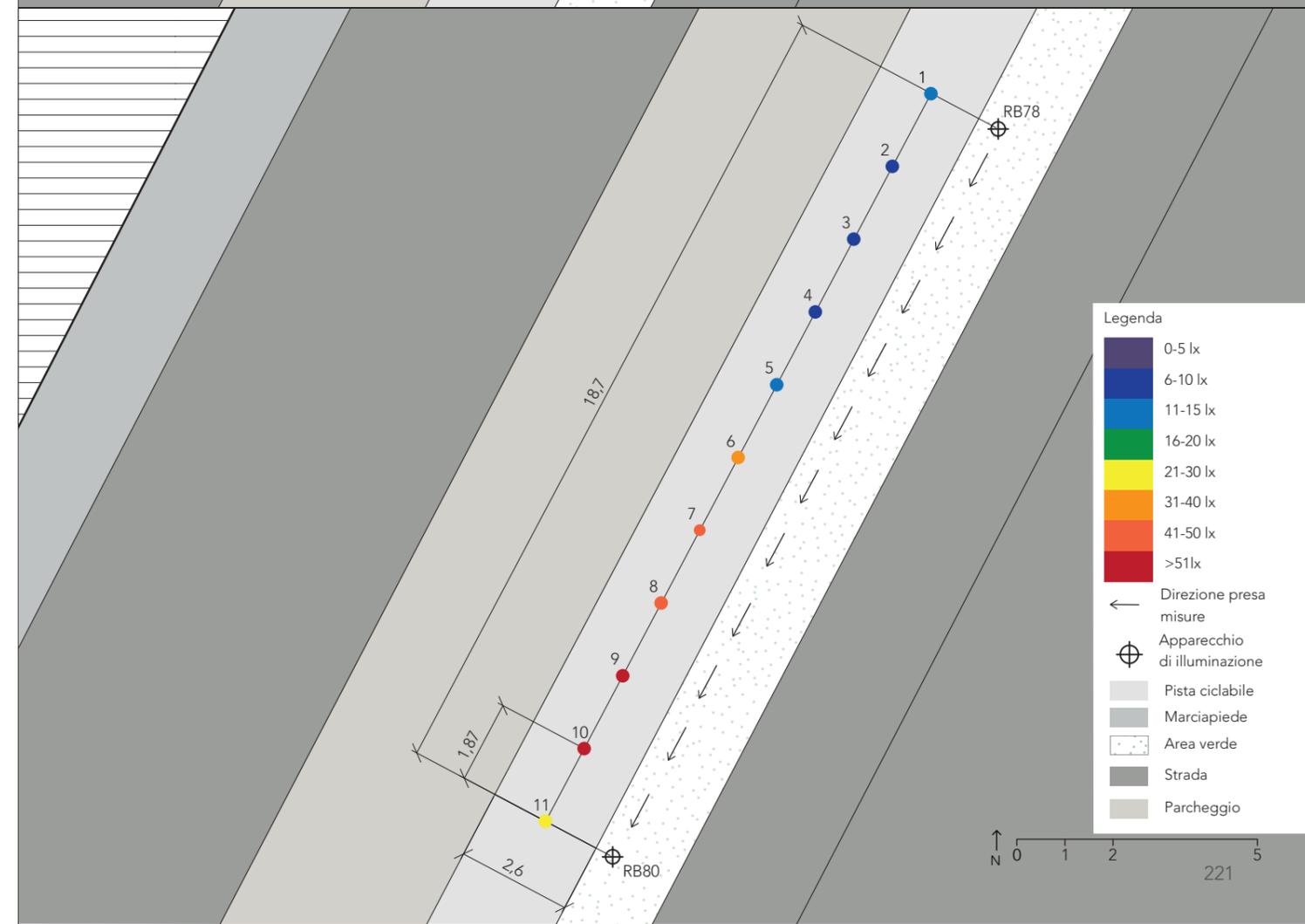
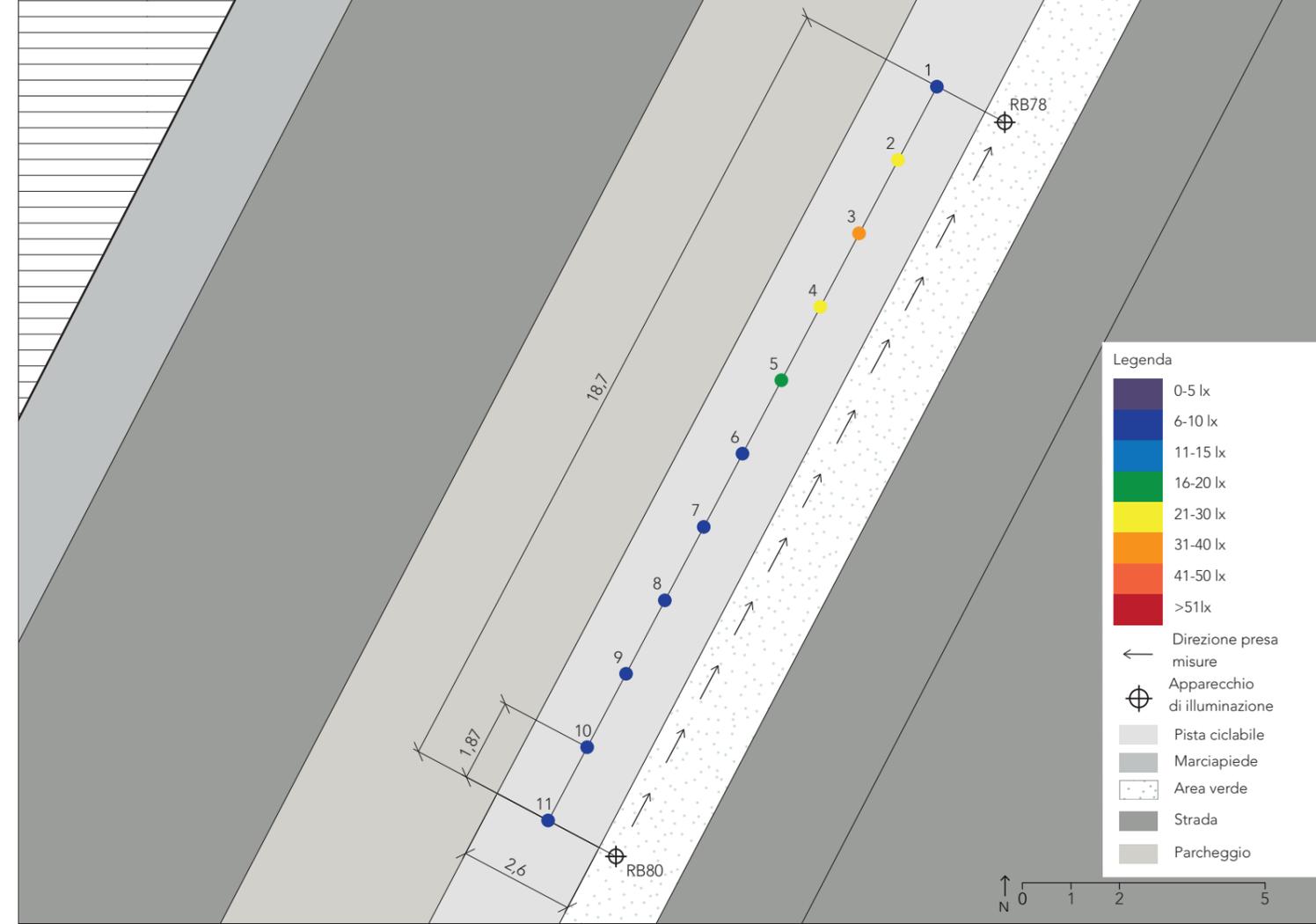
- E_v Illuminamento verticale
- $E_{v,m}$ Illuminamento verticale medio
- $E_{v,min}$ Illuminamento verticale minimo



Punti lungo Corso Re Umberto											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E_v [lx] (verso RB78)	5.4	22.5	30.3	25.9	16.8	9.3	6.0	6.9	7.5	8.2	7.2
E_v [lx] (verso RB80)	10.6	9.6	5.8	5.8	11.9	32.1	42.6	47.7	58.4	58.0	22.7

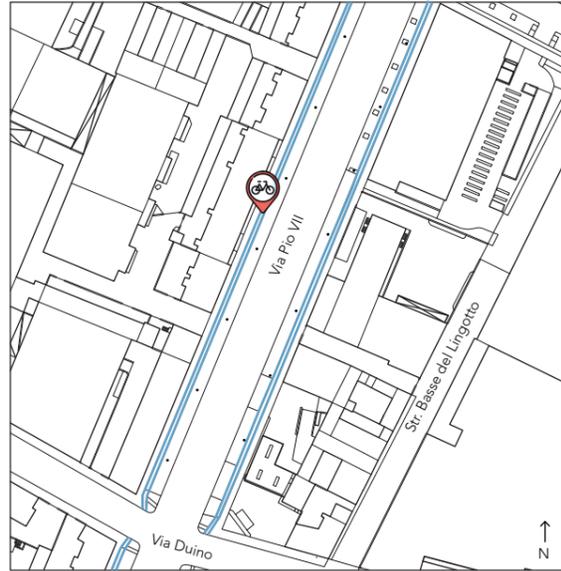
$E_{v,m}$ [lx]	13.3
$E_{v,min}$ [lx]	27.7

Categoria illuminotecnica	Dati sperimentali		Requisiti da normativa UNI EN 13201-2	
P2	$E_{v,min}$ [lx] (verso RB78)	5.4	>3.0	VERIFICATO
	$E_{v,min}$ [lx] (verso RB80)	5.8	> 3.0	VERIFICATO



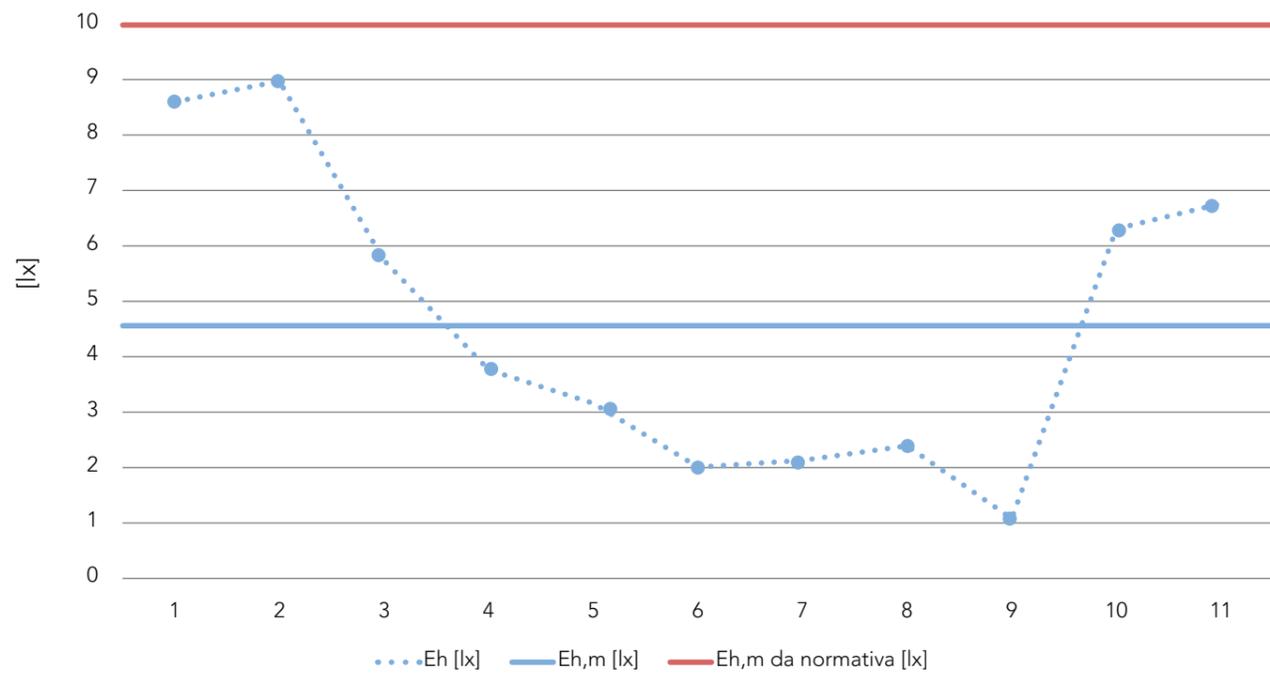
Via Pio VII

Illuminamento orizzontale E_h



Legenda

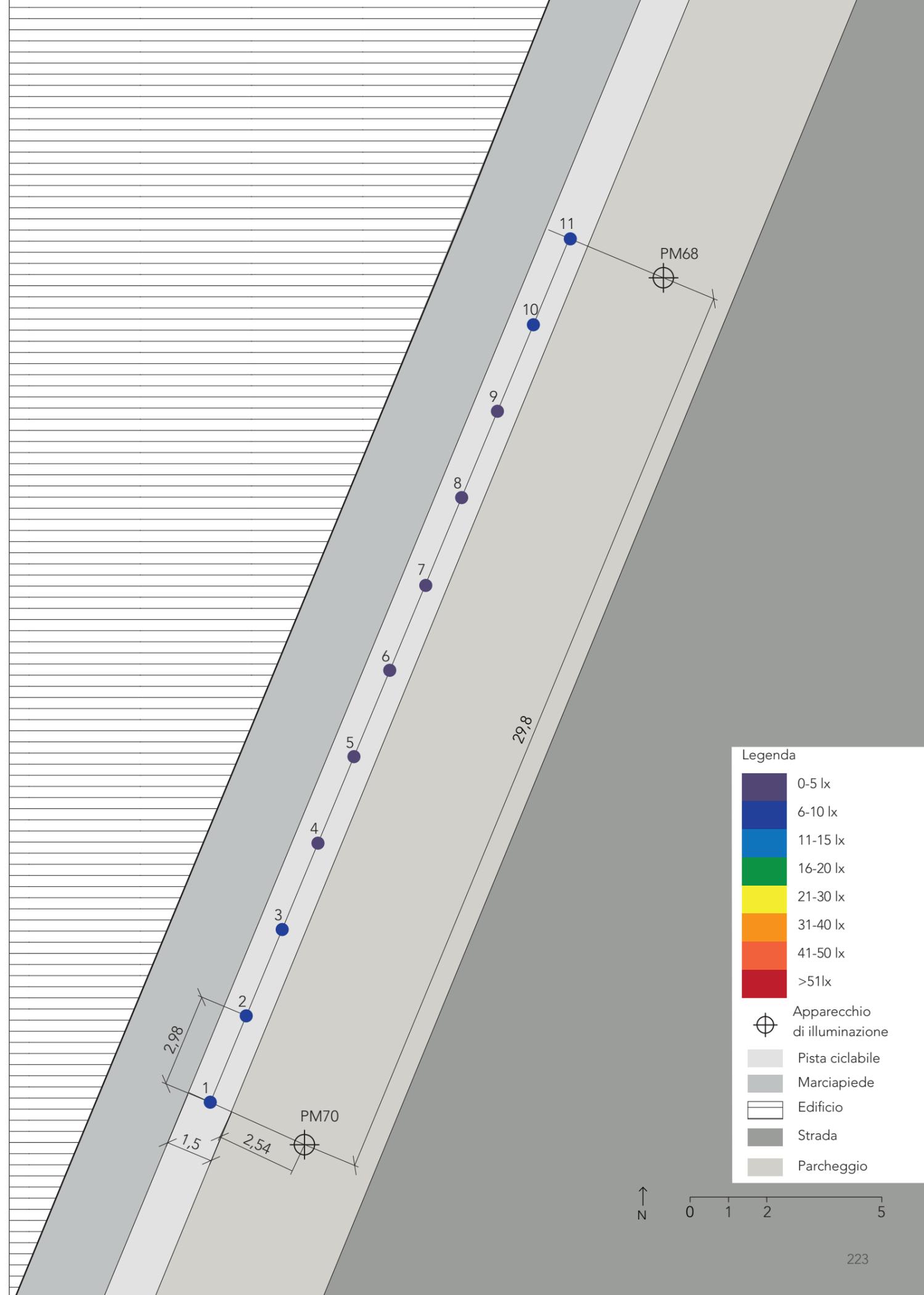
- E_h Illuminamento orizzontale
- $E_{h,m}$ Illuminamento orizzontale medio
- $E_{h,min}$ Illuminamento orizzontale minimo



	Punti lungo Via Pio VII										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E_h [lx]	8.6	9.0	5.8	3.8	3.1	2.0	2.1	2.4	1.1	6.3	6.8

$E_{h,m}$ [lx]	4.6
U_o	0.2

Categoria illuminotecnica	Dati sperimentali		Requisiti da normativa UNI EN 13201-2			
	P2	$E_{h,m}$ [lx]	4.6	> 10	NON VERIFICATO	< 10+25%
	$E_{h,min}$ [lx]	1.1	> 2.0	NON VERIFICATO		



Legenda

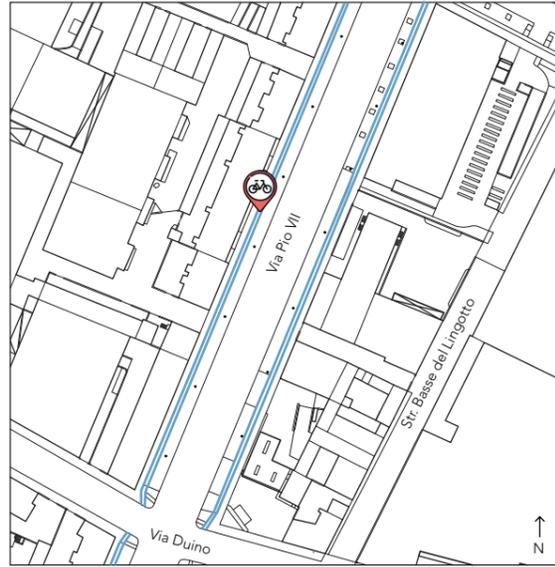
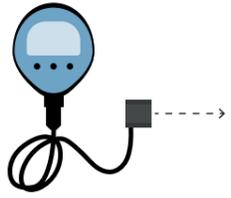
- 0-5 lx
- 6-10 lx
- 11-15 lx
- 16-20 lx
- 21-30 lx
- 31-40 lx
- 41-50 lx
- >51lx

- Apparecchio di illuminazione
- Pista ciclabile
- Marciaiede
- Edificio
- Strada
- Parcheggio



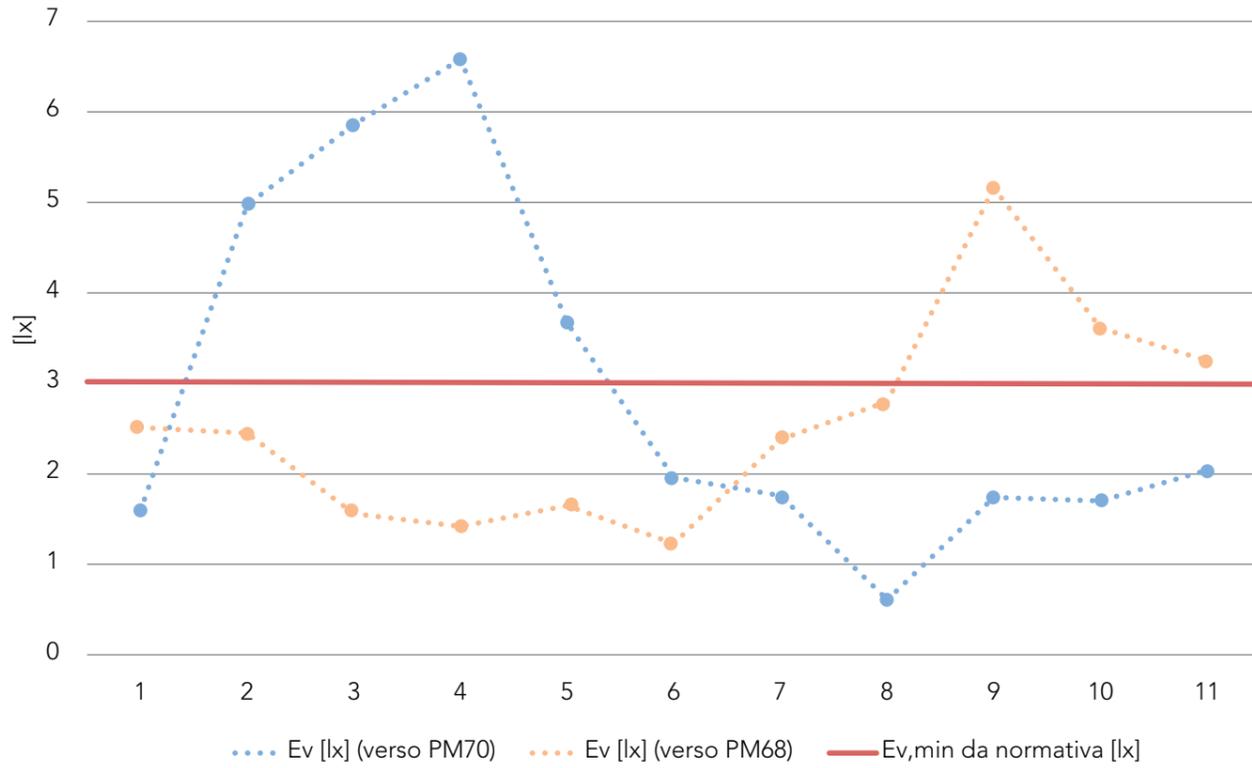
Via Pio VII

Illuminamento verticale E_v



Legenda

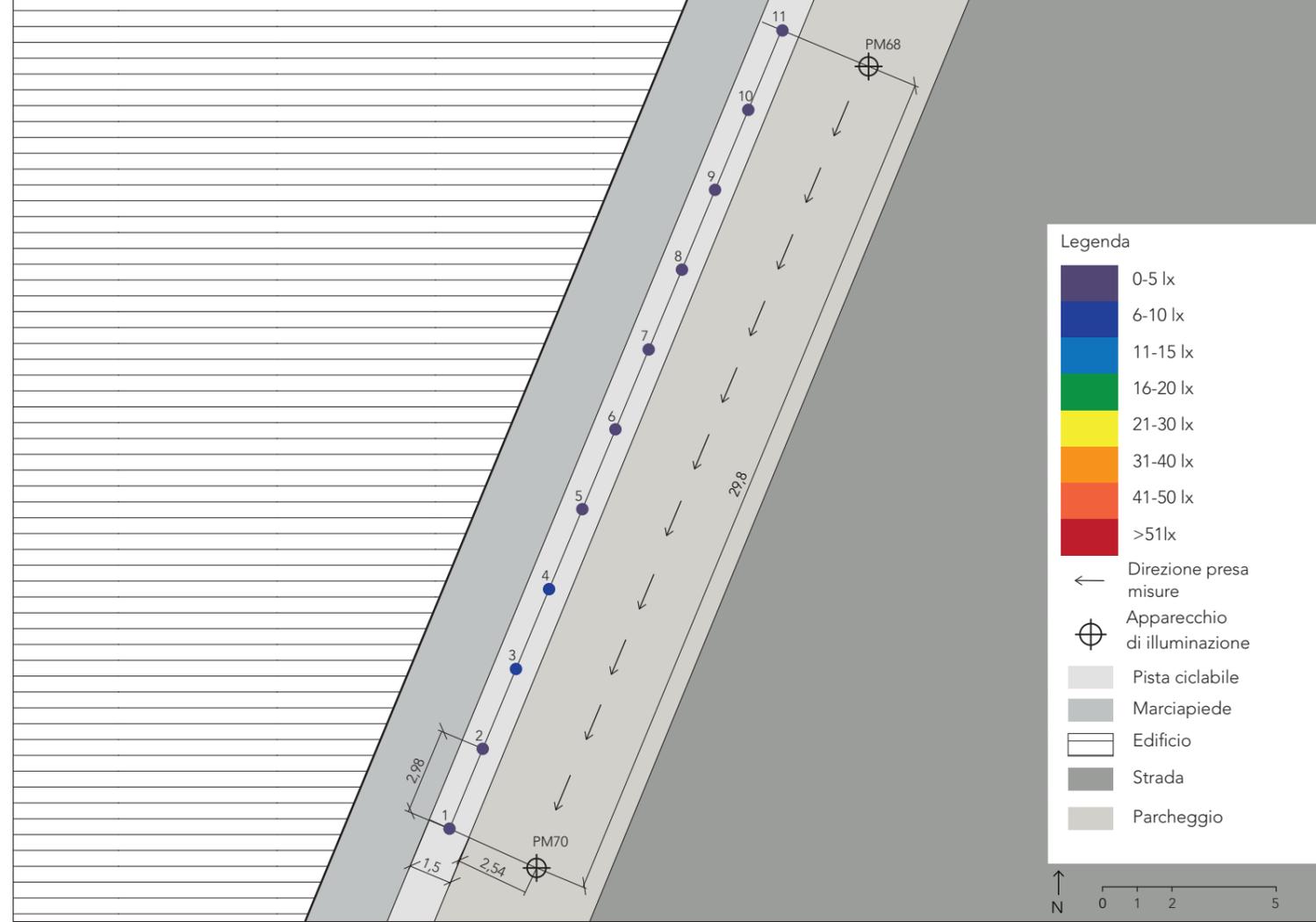
- E_v Illuminamento verticale
- $E_{v,m}$ Illuminamento verticale medio
- $E_{v,min}$ Illuminamento verticale minimo



	Punti lungo Via Pio VII										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E_v [lx] (verso PM70)	1.6	5.0	5.9	6.6	3.7	2.0	1.8	0.6	1.7	1.7	2.0
E_v [lx] (verso PM68)	2.5	2.5	1.6	1.4	1.7	1.2	2.4	2.8	5.2	3.6	3.2

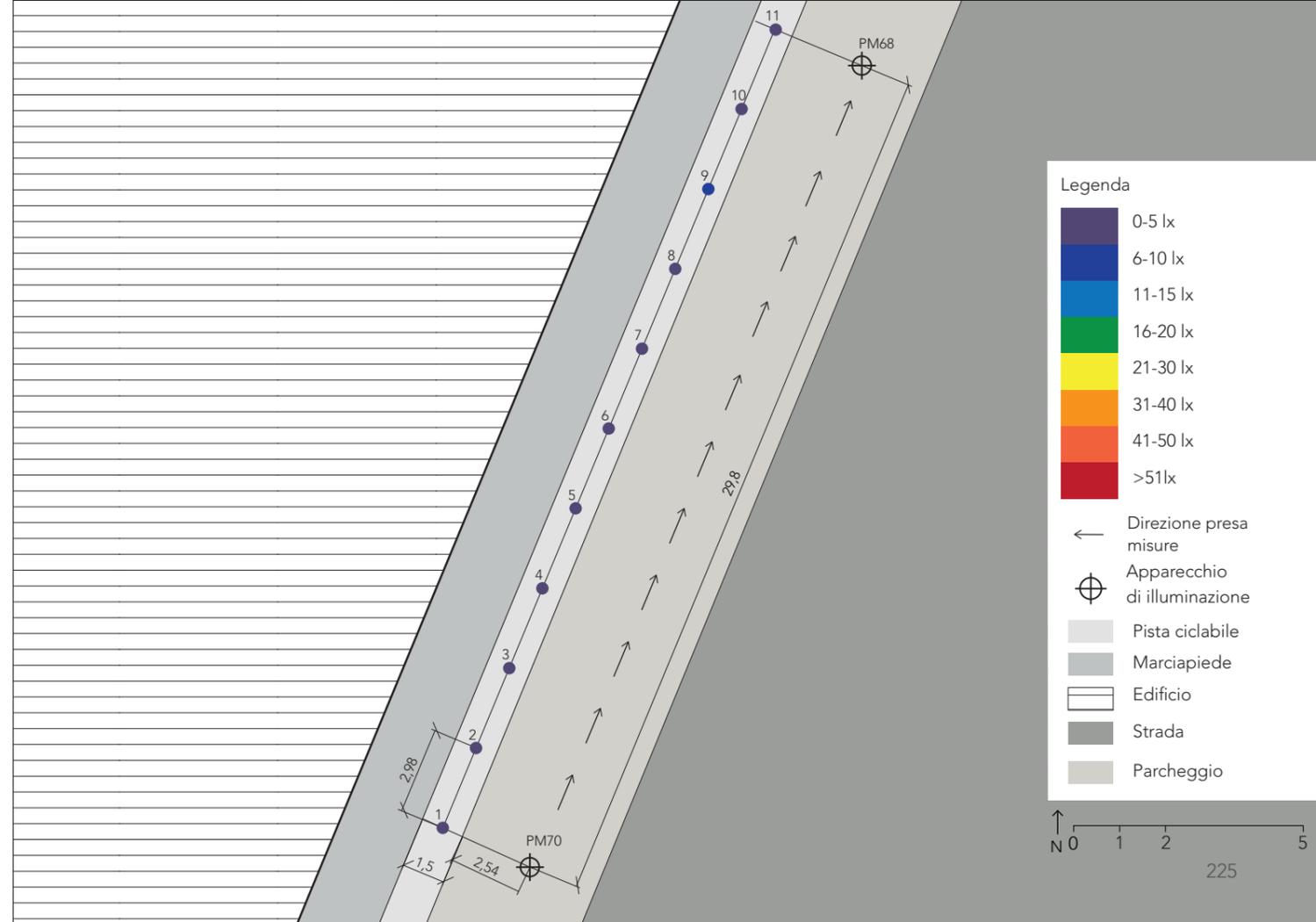
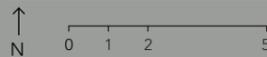
$E_{v,m}$ [lx]	3.0
$E_{v,min}$ [lx]	2.5

Categoria illuminotecnica	Dati sperimentali		Requisiti da normativa UNI EN 13201-2	
P2	$E_{v,min}$ [lx] (verso PM70)	0.6	>3.0	NON VERIFICATO
	$E_{v,min}$ [lx] (verso PM68)	1.2	> 3.0	NON VERIFICATO



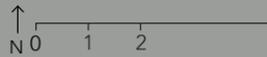
Legenda

- 0-5 lx
- 6-10 lx
- 11-15 lx
- 16-20 lx
- 21-30 lx
- 31-40 lx
- 41-50 lx
- >51 lx
- ← Direzione presa misure
- ⊕ Apparecchio di illuminazione
- Pista ciclabile
- Marciapiede
- Edificio
- Strada
- Parcheggio



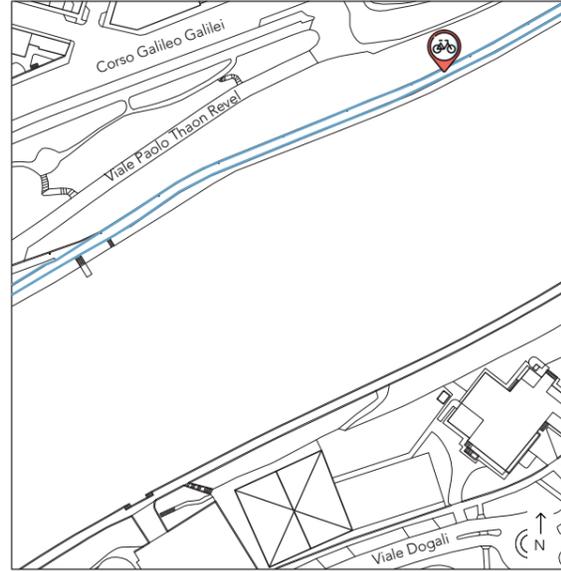
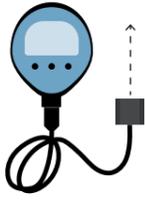
Legenda

- 0-5 lx
- 6-10 lx
- 11-15 lx
- 16-20 lx
- 21-30 lx
- 31-40 lx
- 41-50 lx
- >51 lx
- ← Direzione presa misure
- ⊕ Apparecchio di illuminazione
- Pista ciclabile
- Marciapiede
- Edificio
- Strada
- Parcheggio



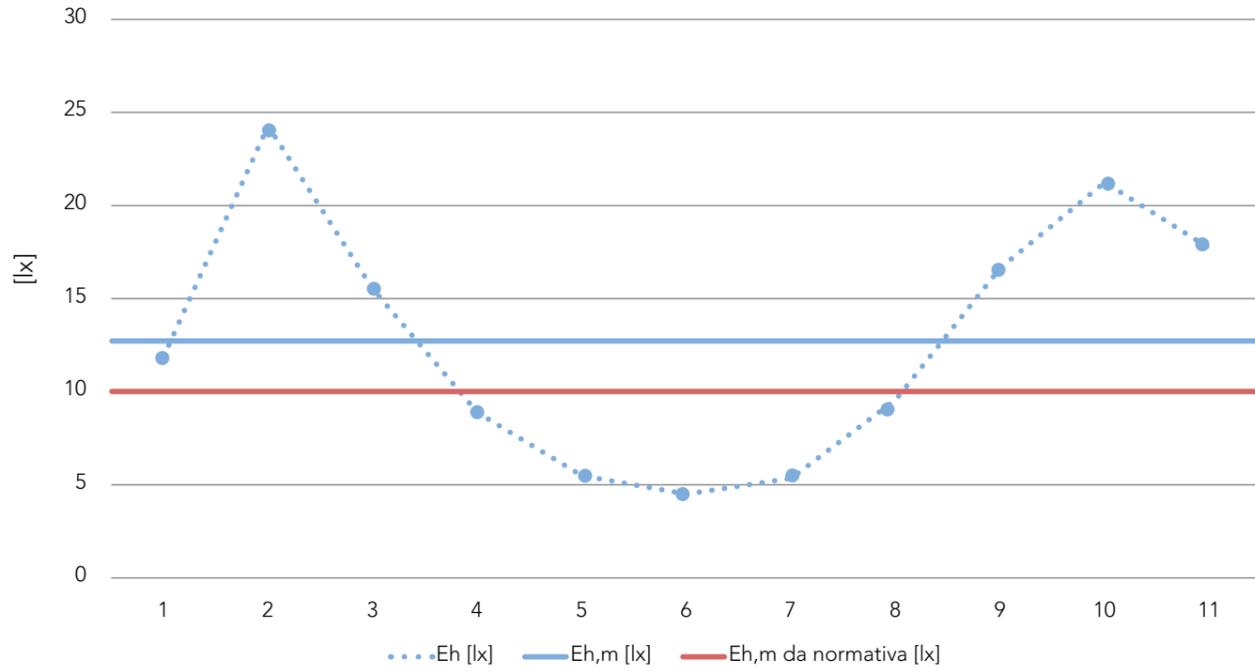
Parco del Valentino

Illuminamento orizzontale E_h



Legenda

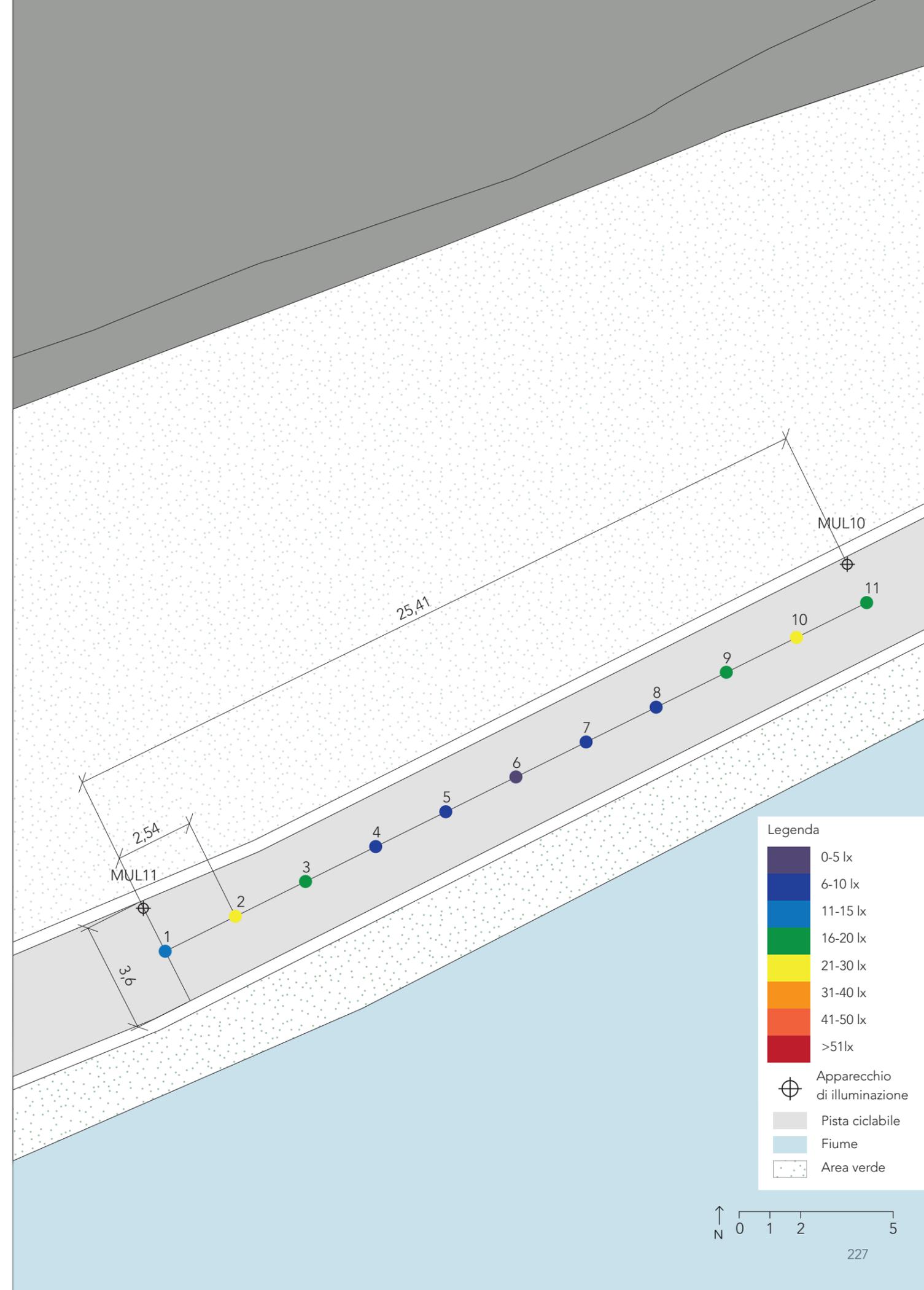
- E_h Illuminamento orizzontale
- $E_{h,m}$ Illuminamento orizzontale medio
- $E_{h,min}$ Illuminamento orizzontale minimo



Punti lungo Parco del Valentino											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E_h [lx]	11.9	24.3	15.5	8.9	5.5	4.5	5.4	9.6	16.6	21.3	17.7

$E_{h,m}$ [lx]	12.8
U_o	0.4

Categoria illuminotecnica	Dati sperimentali		Requisiti da normativa UNI EN 13201-2		
	P2	$E_{h,m}$ [lx]	12.8	> 10	VERIFICATO
	$E_{h,min}$ [lx]	4.5	> 2.0	VERIFICATO	

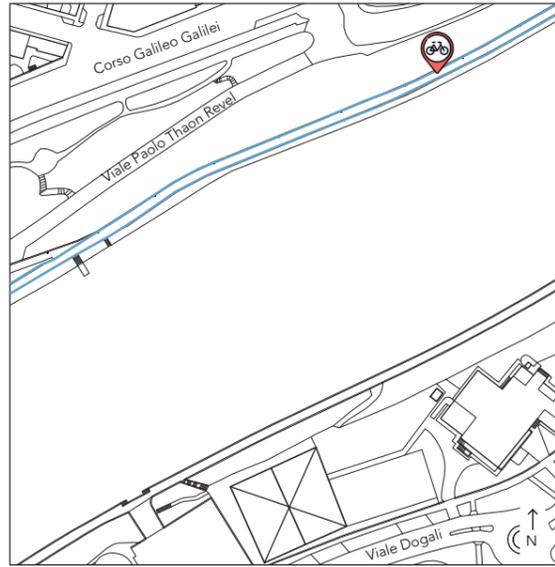
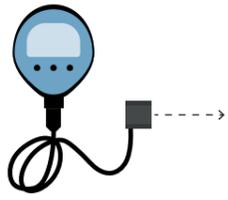


Legenda

- 0-5 lx
- 6-10 lx
- 11-15 lx
- 16-20 lx
- 21-30 lx
- 31-40 lx
- 41-50 lx
- >51lx
- Apparecchio di illuminazione
- Pista ciclabile
- Fiume
- Area verde

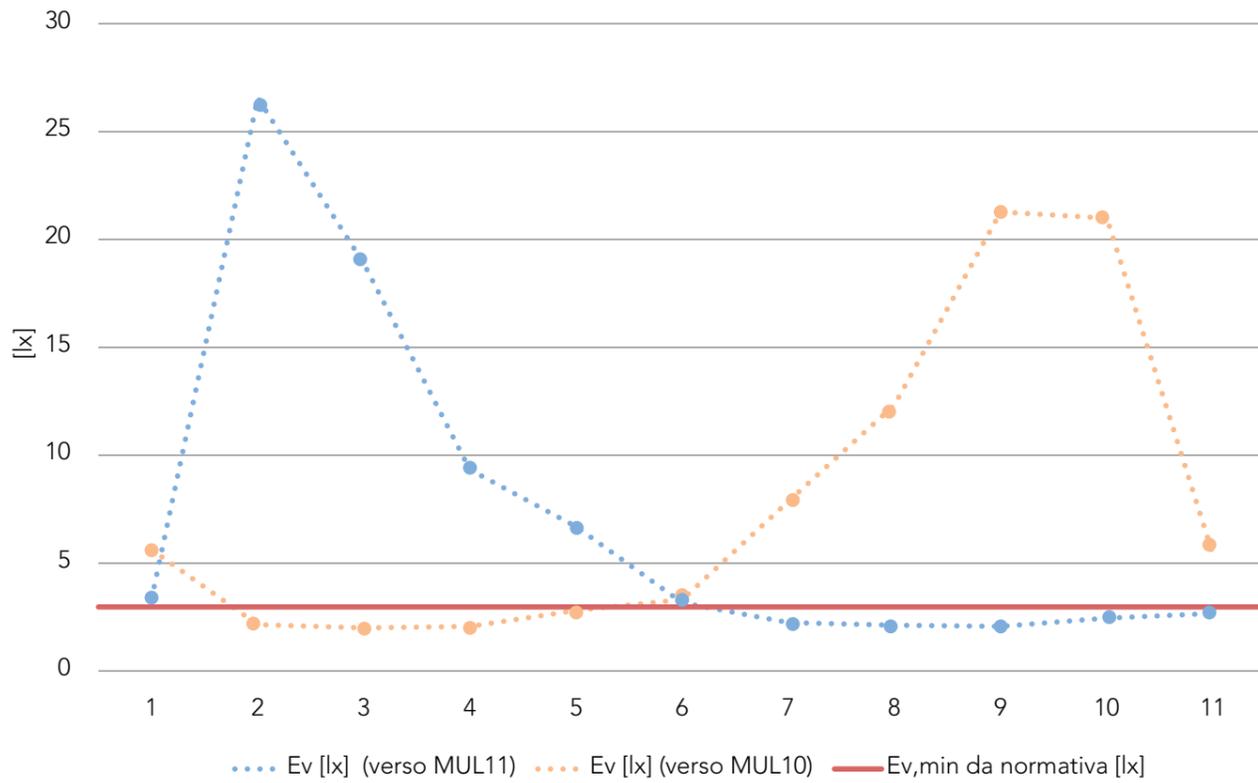
Parco del Valentino

Illuminazione verticale E_v



Legenda

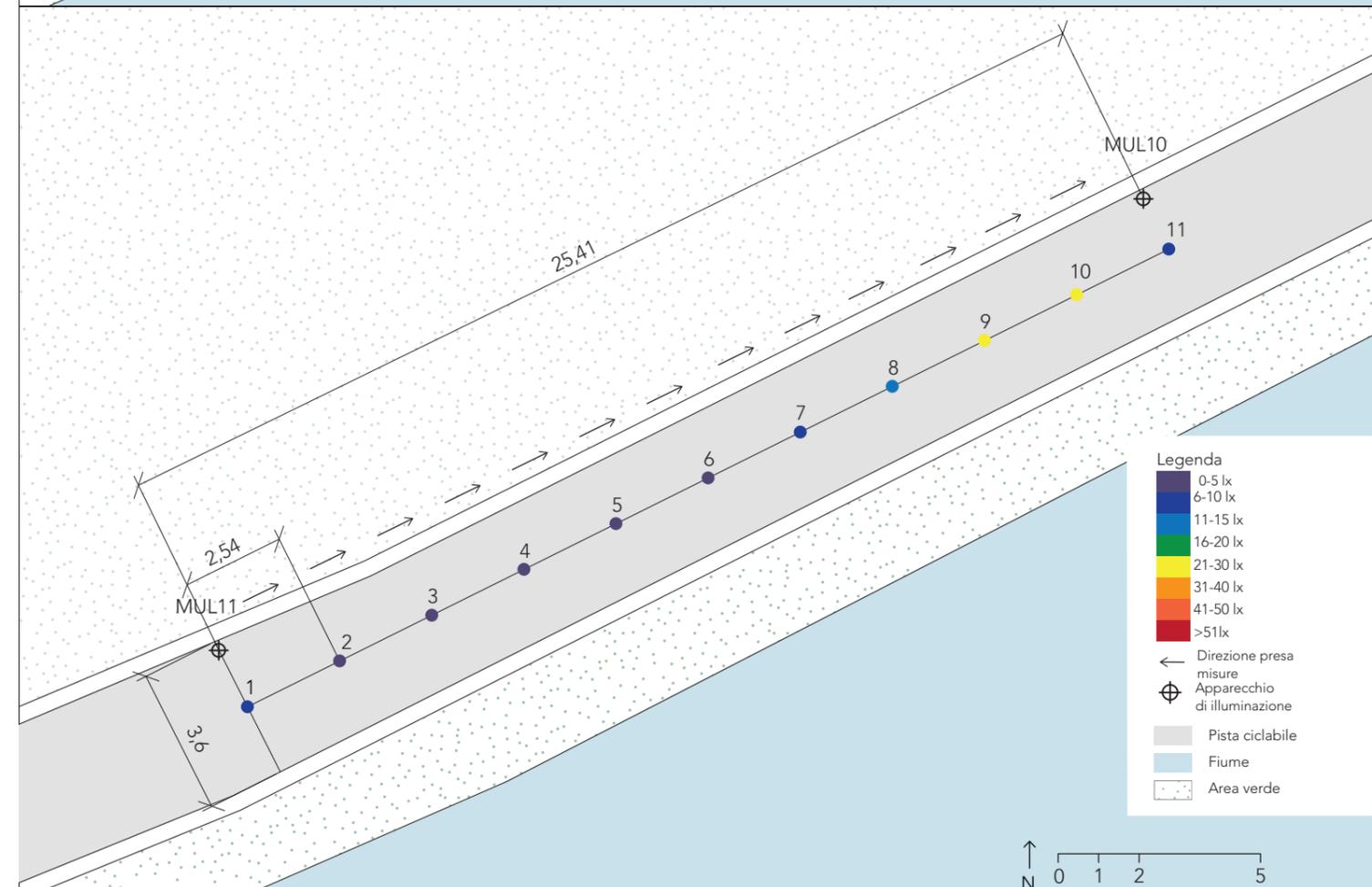
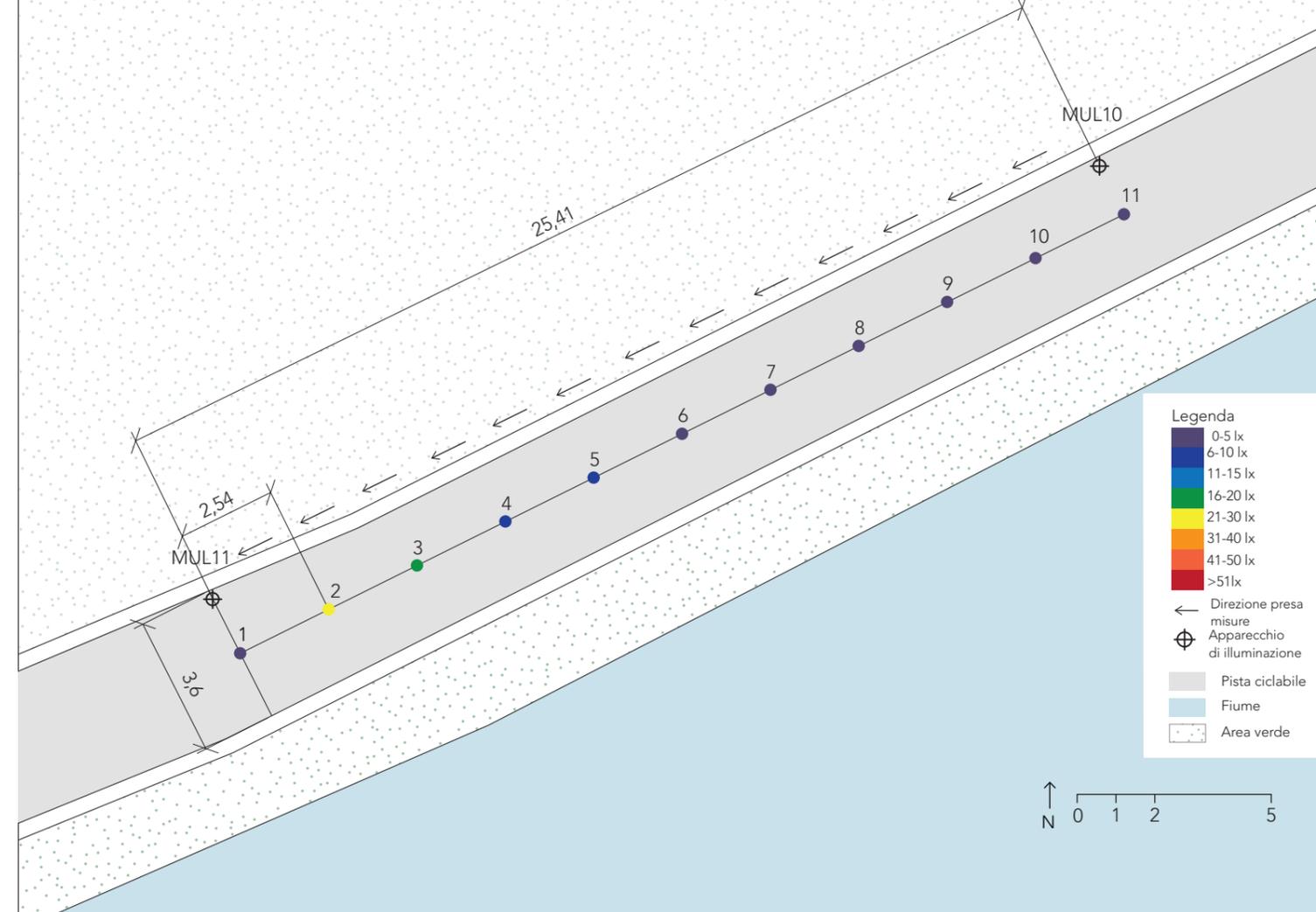
- E_v Illuminazione verticale
- $E_{v,m}$ Illuminazione verticale medio
- $E_{v,min}$ Illuminazione verticale minimo



Punti lungo Parco del Valentino											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E_v [lx] (verso MUL11)	3.4	26.6	18.9	9.3	6.7	3.2	2.3	2.1	2.1	2.5	2.7
E_v [lx] (verso MUL10)	5.6	2.2	2.0	2.1	2.8	3.3	7.9	12.3	21.3	21.0	5.4

$E_{v,m}$ [lx]	7.2
$E_{v,min}$ [lx]	7.8

Categoria illuminotecnica	Dati sperimentali		Requisiti da normativa UNI EN 13201-2	
P2	$E_{v,min}$ [lx](verso MUL11)	2.1	>3.0	NON VERIFICATO
	$E_{v,min}$ [lx](verso MUL10)	2.0	> 3.0	NON VERIFICATO



- Legenda
- 0-5 lx
 - 6-10 lx
 - 11-15 lx
 - 16-20 lx
 - 21-30 lx
 - 31-40 lx
 - 41-50 lx
 - >51lx
 - ← Direzione presa misure
 - ⊕ Apparecchio di illuminazione
 - Pista ciclabile
 - Fiume
 - Area verde

- Legenda
- 0-5 lx
 - 6-10 lx
 - 11-15 lx
 - 16-20 lx
 - 21-30 lx
 - 31-40 lx
 - 41-50 lx
 - >51lx
 - ← Direzione presa misure
 - ⊕ Apparecchio di illuminazione
 - Pista ciclabile
 - Fiume
 - Area verde

Nel tratto ciclabile lungo **Corso Castelfidardo**, che presenta un'illuminazione dedicata, i parametri da normativa riguardo l'illuminamento orizzontale e verticale vengono rispettati in tutti i punti rilevati.

Inoltre, la luce presenta una distribuzione uniforme lungo il tratto considerato e il valore di uniformità è pari a 0.5.

Questo valore, come dimostrato dallo studio condotto da Fotios¹²⁹, essendo maggiore di 0.25 influisce positivamente sulla sensazione di sicurezza percepita, un fattore molto rilevante lungo questo tratto particolarmente frequentato poiché i ciclisti si spostano a velocità elevate.



129 Riferimento al capitolo 2, paragrafo 2.4.2 "Percezione di sicurezza"

Fig. 3-4 Corso Castelfidardo, foto personali

Per quanto riguarda la pista all'interno del **parco del Valentino** il valore di illuminamento orizzontale medio è pari a 12.8 lx e quello minimo è pari a 4.5 lx, i valori sono verificati e risultano più in linea con i requisiti normativi. L'uniformità è pari a 0.4.

Nonostante sia presente un sistema per l'illuminazione dedicata anche lungo questa pista ciclabile l'illuminamento verticale raggiunge dei valori massimi compresi tra i 20-26 lx soltanto nelle vicinanze degli apparecchi mentre nel resto del percorso il valore diminuisce fino a raggiungere 2-3 lx. L'illuminamento minimo verticale, considerato per consentire il riconoscimento facciale, raggiunge i 2.0 lx e non è verificato.

In questo caso, in cui la pista lungo il fiume Po si trova in un contesto più isolato rispetto ad altri percorsi all'interno del contesto urbano, l'illuminamento verticale risulta fondamentale per aumentare la sensazione di sicurezza ed essere in grado di distinguere le altre persone che si possono incontrare lungo il percorso.

Un'altra differenza tra i due percorsi ciclabili è legata all'illuminazione

generale del contesto, nel tratto lungo Po prevale l'influenza degli apparecchi concentrati lungo il percorso in modo tale che il resto del parco rimanga buio, mentre lungo corso Castelfidardo sono presenti apparecchi di illuminazione stradale, e altre fonti luminose che influiscono sulla percezione dell'ambiente che di conseguenza risulta illuminato in modo uniforme.

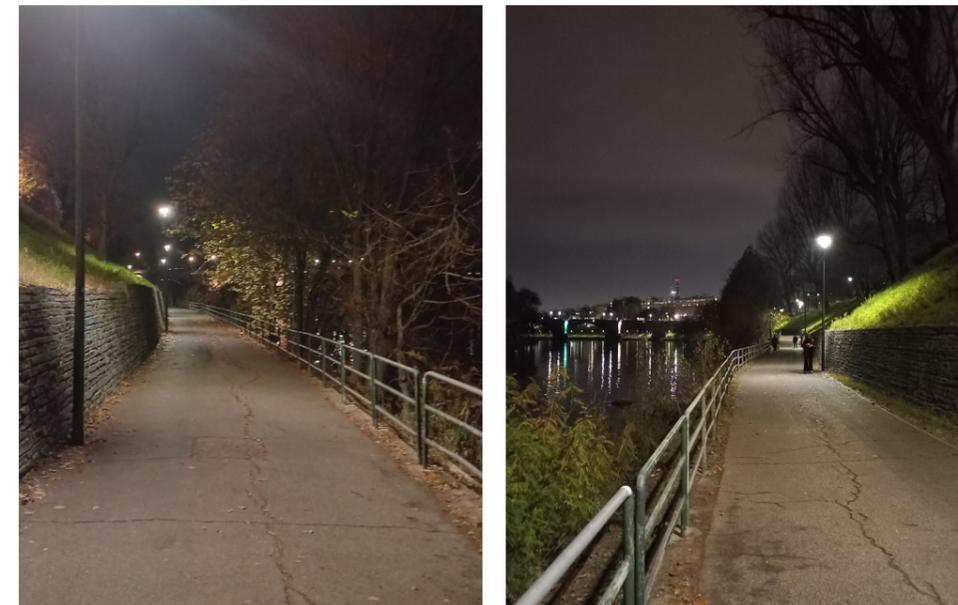


Fig. 5-6 Parco del Valentino-lungo Po, foto personali

Il tratto di pista ciclabile e pedonale lungo corso **re Umberto** presenta dei valori di illuminamento orizzontali e verticale sempre nel rispetto della normativa. Dei valori di illuminamento particolarmente alti, 77 lx per l'illuminamento orizzontale e circa 58 lx per l'illuminamento verticale, si concentrano verso l'apparecchio RB80 poiché verso quel lato si concentrano semafori, insegne e altri contributi luminosi provenienti dalle attività commerciali.



Fig. 7-8 Corso Re Umberto, foto personali

La situazione più sfavorevole si verifica lungo via **Pio VII** dove in nessun caso risultano verificati i requisiti normativi. L'illuminamento orizzontale medio raggiunge i 4.6 lx mentre quello verticale raggiunge i 3 lx. In questo caso sono presenti delle sorgenti tradizionali e il sistema di illuminazione non è dedicato per la pista ciclabile.

L'uniformità dell'illuminamento pari a 0.2 e i livelli di illuminamento molto bassi rilevati lungo il percorso ciclabile influenzano negativamente la sensazione di sicurezza e la possibilità di orientarsi facilmente durante gli spostamenti.

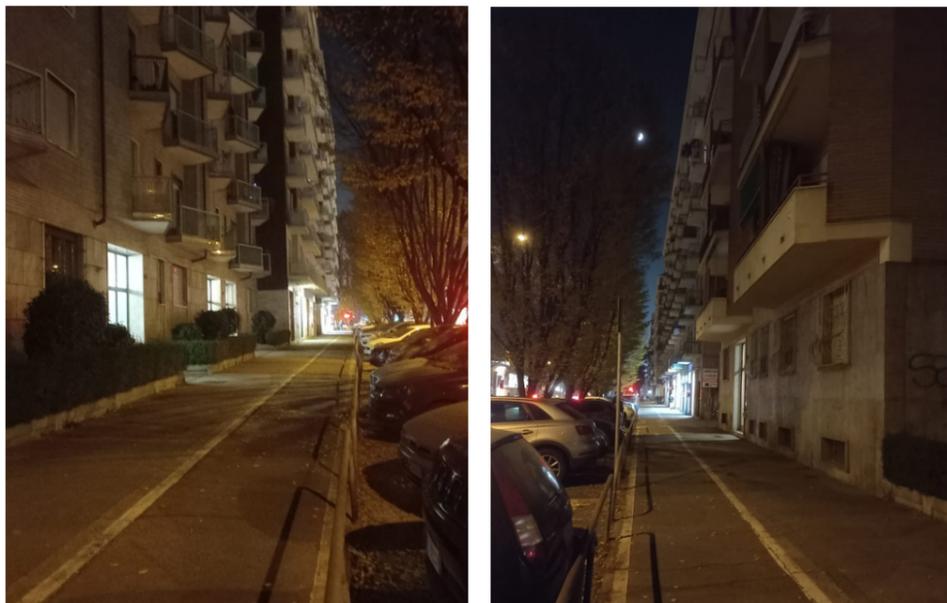


Fig.9-10
Via Pio VII, foto personali

Come dimostrato da recenti studi¹³⁰ esiste un livello di illuminamento ottimale oltre il quale non si riscontrano ulteriori benefici sul numero di ciclisti che usufruisce dell'infrastruttura ciclabile e alti livelli di illuminamento non sono sinonimo di sicurezza. Il sovrailluminamento, oltre a non generare benefici agli utenti, influisce sulla sostenibilità ambientale dal punto di vista energetico poiché implica maggiori consumi.

Secondo la norma UNI 11248:2016, con l'obiettivo di contenere i consumi energetici, non devono essere previsti valori di illuminamento e luminanza medi superiori del 25% rispetto a quelli definiti dalla normativa UNI EN 13201:2.

Nel caso dei tratti ciclabili evidenziati i valori di illuminamento medio superano questa percentuale. In particolare lungo corso Castelfidardo l'illuminamento orizzontale medio è pari a 57.4 lx rispetto ai 12.5 lx, valore che considera l'aumento del 25% al limite normativo.

130 Riferimento al capitolo 2, paragrafo 2.4.1 "Impatto dell'oscurità sul numero di ciclisti"

6.4.2 Misure di luminanza: considerazioni sulla percezione dell'ambiente

Il secondo livello di analisi fa riferimento alla percezione dello spazio e il comfort visivo dell'utente.

Questa fase si basa sull'interpretazione delle prese di luminanza e dei valori di luminanza media, massima e minima nelle regioni analizzate.

Nel caso degli ambienti esterni, poiché la luminanza è una grandezza fotometrica che dipende dalla posizione dell'osservatore, è necessario assicurare la distribuzione uniforme della luce in modo da evitare eccessiva alternanza di luce e ombra e garantire un adeguato contrasto tra gli oggetti e lo sfondo per consentire all'utente lo svolgimento dei compiti visivi e distinguere gli ostacoli.

Nonostante la luminanza non sia un parametro considerato per la definizione delle categorie illuminotecniche delle piste ciclabili, che invece si basano sull'illuminamento, essa risulta determinante per valutare la qualità luminosa dell'ambiente. Attraverso questo parametro, è possibile analizzare come l'illuminazione incida sulla capacità dell'utente di distinguere ostacoli, identificare altri utenti della strada e orientarsi nello spazio, migliorando comfort visivo e influenzando la percezione dell'ambiente.

Per la definizione dei valori di luminanza delle scene è stato necessario il supporto di una strumentazione specifica.

Per prima cosa le immagini di luminanza sono state rilevate con un videofotometro. Questo approccio permette di ottenere una serie di immagini con diverse esposizioni che possono essere combinate all'interno di un programma o software per ottenere un'unica immagine in cui è possibile distinguere un intervallo più ampio di luci ed ombre. Le tre fotografie comprendono un'immagine sottoesposta per evidenziare le fonti luminose e le zone con luci intense, una seconda immagine sovraesposta per evidenziare le zone buie e le superfici stradali, e un'ultima immagine caratterizzata da un'esposizione normale.

Successivamente, le immagini sono state elaborate all'interno del software LMK soft Lab che, a partire dalle tre conformazioni di un'unica scena urbana, genera un'ulteriore elaborazione in falsi colori per visualizzare la distribuzione della luminanza e ricavarne i valori puntuali. All'interno del programma è possibile anche evidenziare alcune regioni, come la pavimentazione stradale e le facciate degli edifici, per estrapolare i valori di luminanza massima (L_{max}), minima (L_{min}), e media (L_{mean}) associati ad ogni regione.

Le immagini sono state rilevate in ogni tratto ciclabile preso in

considerazione nelle due direzioni di percorrenza per ottenere un quadro completo della situazione riguardo le distribuzioni luminose.

Per ogni pista vengono riportate delle considerazioni legate ad un'analisi critica dei risultati ottenuti dal software LMK soft Lab e alle impressioni raccolte durante i sopralluoghi.

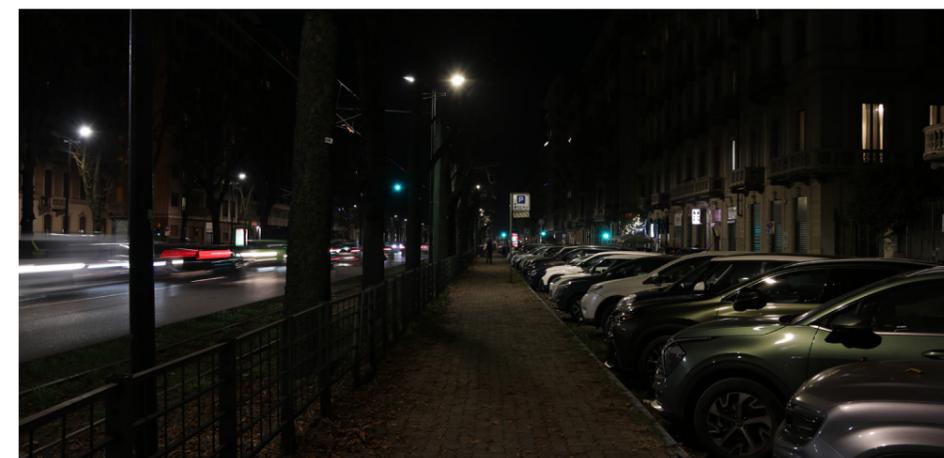


Fig.11
Immagine sottoesposta

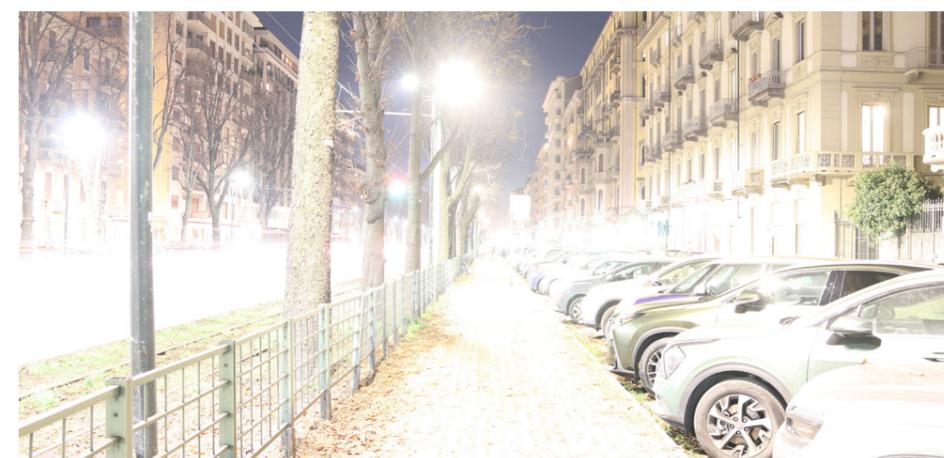


Fig.12
Immagine sovraesposta

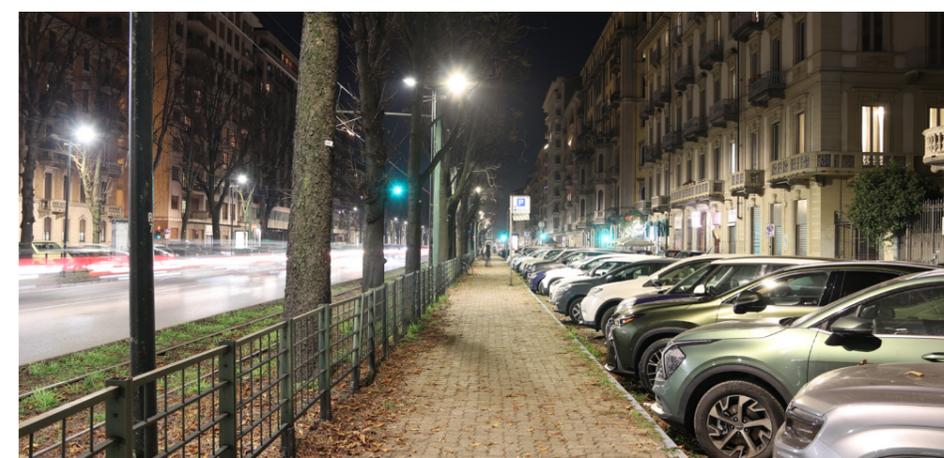
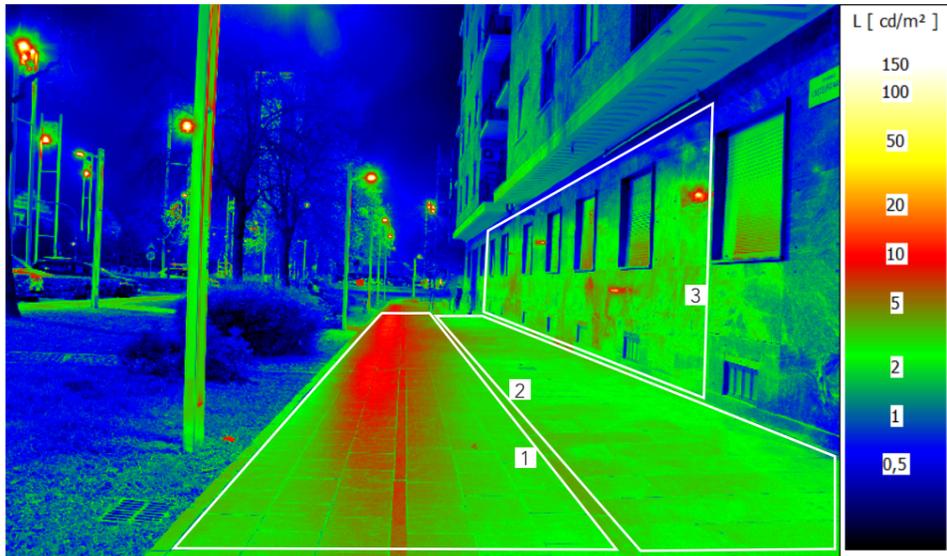
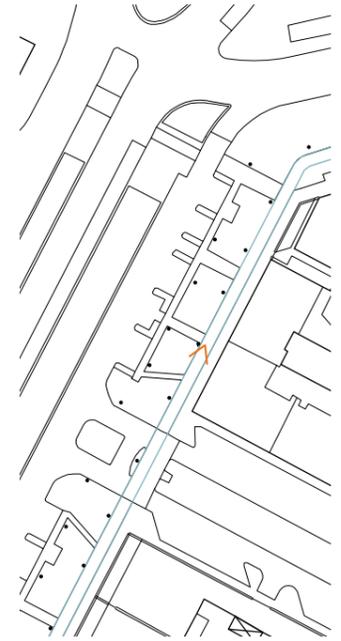
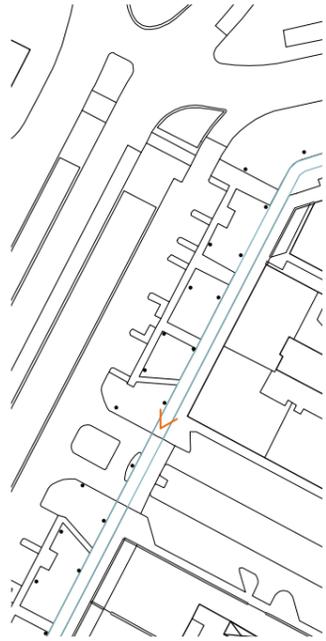


Fig.13
Immagine ad esposizione normale

Corso Castelfidardo



L'immagine in falsi colori descrive, nel caso di Corso Castelfidardo, un ambiente molto illuminato in cui il flusso luminoso si concentra principalmente su una corsia del percorso ciclabile dove sono presenti dei valori di luminanza massima di $L_{max,1}=14.01 \text{ cd/m}^2$.

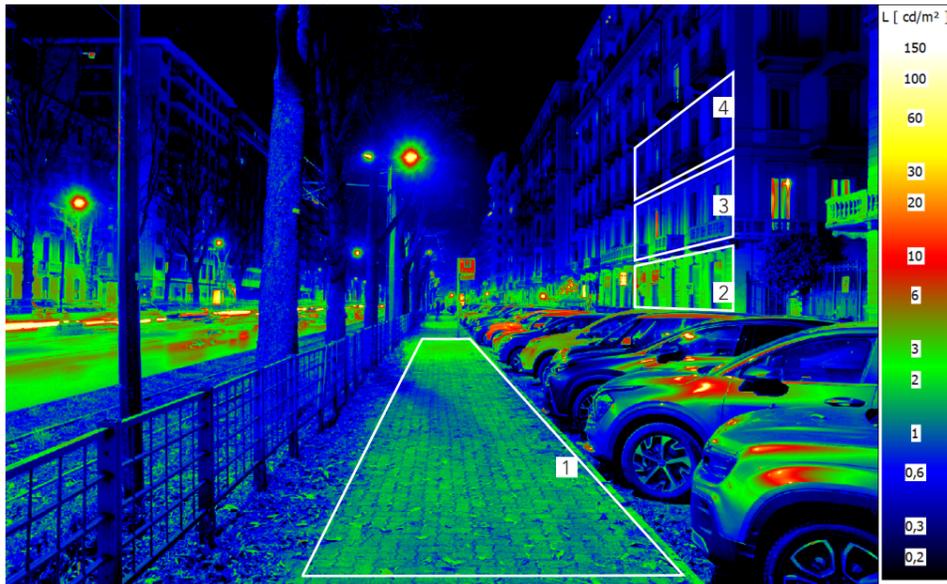
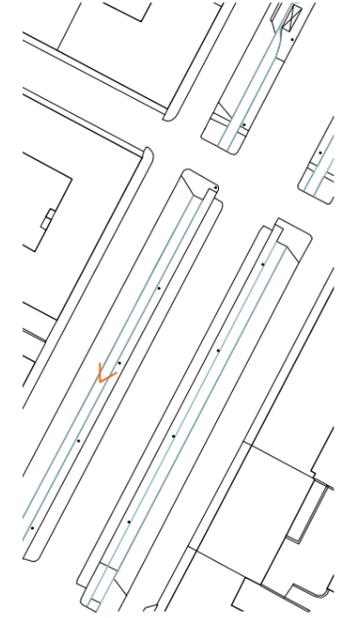
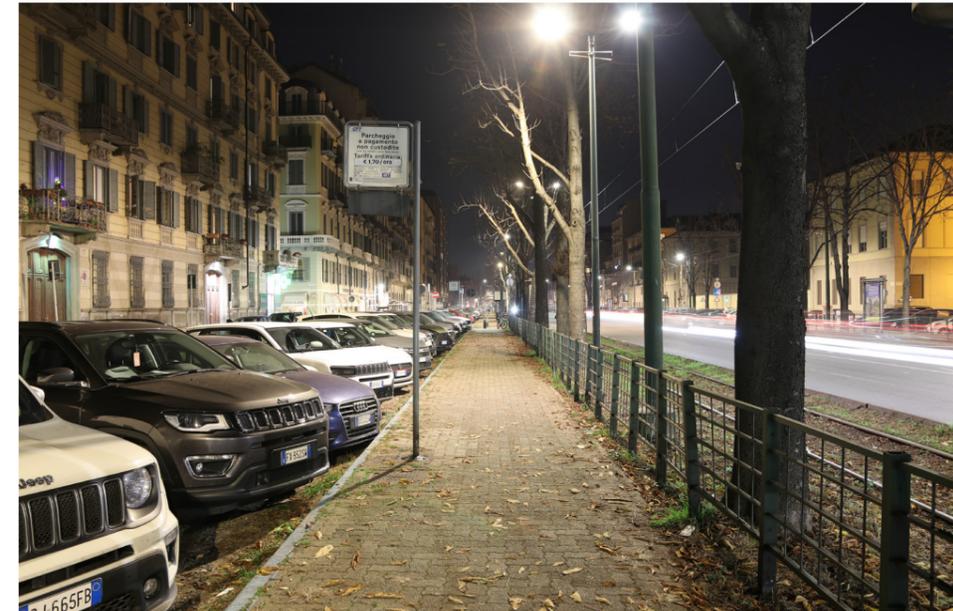
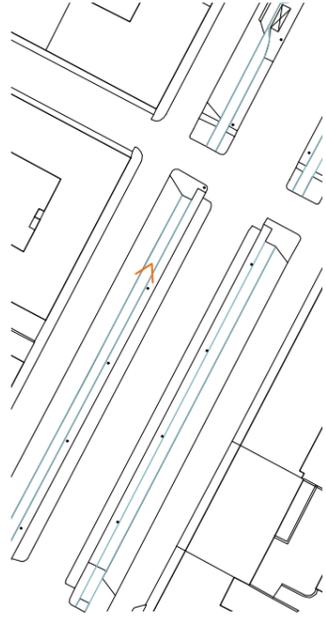
Il percorso pedonale adiacente alla pista è illuminato in modo uniforme e la luminanza media è pari a $L_{mean,2}=2.77 \text{ cd/m}^2$. Il contrasto tra queste due regioni risulta pari a 1.5.

La facciata, a causa del sovrailluminamento e del materiale molto riflettente, presenta dei valori di luminanza massima molto alti pari a 178 cd/m^2 , contribuendo ad aumentare la **sensazione di abbagliamento**.

Il flusso luminoso è rivolto verso percorsi pedonali ciclabile come dimostra il fatto che in corrispondenza dell'area verde la luminanza raggiunge un valore medio di $L_{mean,6}=0.93 \text{ cd/m}^2$.

Regione	$L_{min} [\text{cd/m}^2]$	$L_{max} [\text{cd/m}^2]$	$L_{mean} [\text{cd/m}^2]$
1	0.63	14.01	4.28
2	0.68	5.42	2.77
3	0.11	178	2.30
4	0.75	12.64	3.76
5	0.62	16.28	5.06
6	0.16	3.89	0.93
7	0.12	14.31	2.08

Corso Re Umberto

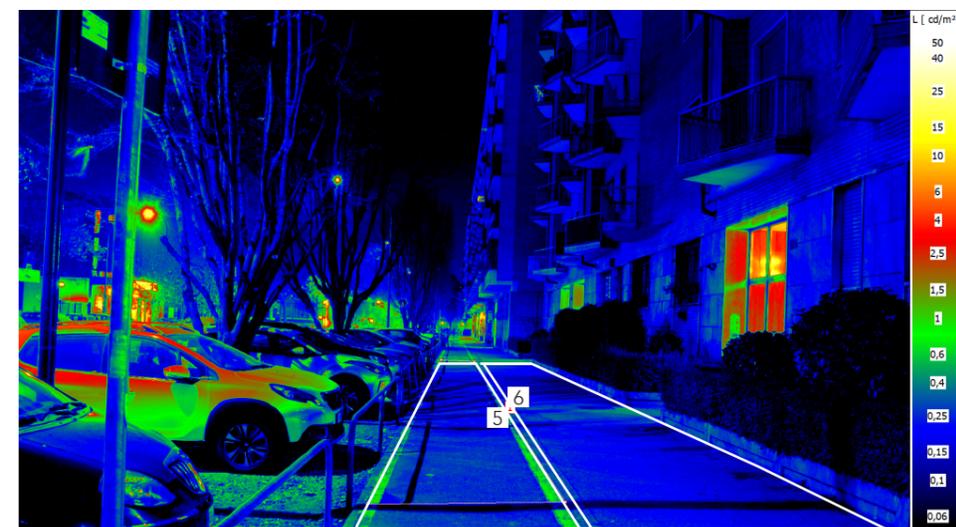
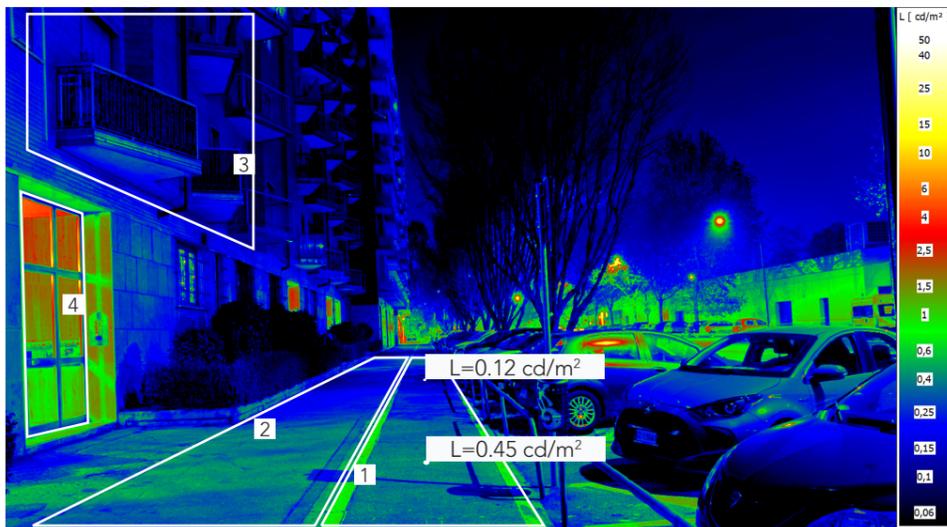
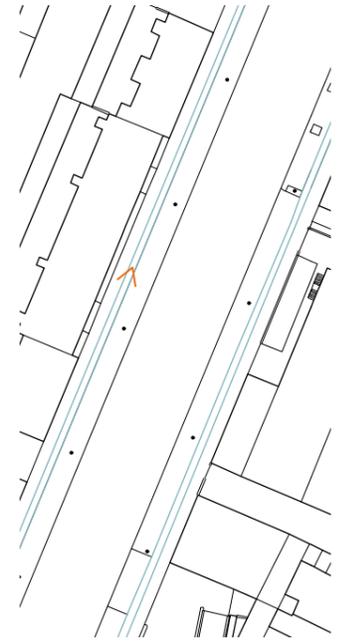
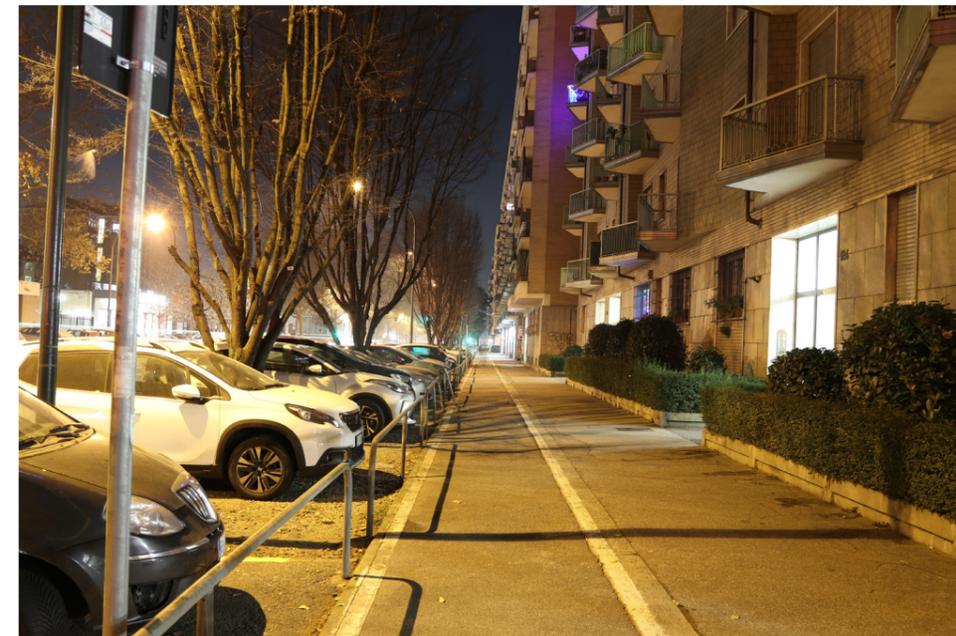
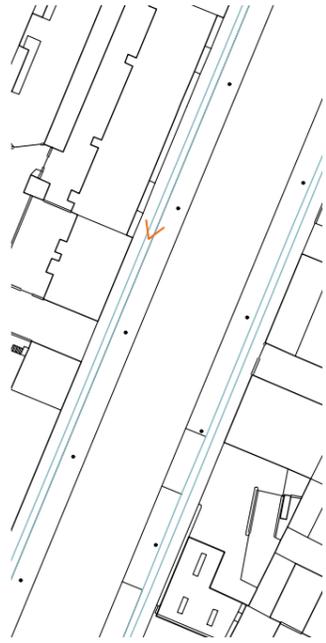


Nel caso di corso Re Umberto sono presenti degli apparecchi di illuminazione che illuminano la pista e la strada, ma anche a causa dei diversi materiali delle pavimentazioni, l'asfalto nella carreggiata stradale e gli autobloccanti nel percorso ciclopedonale, è presente un valore di luminanza media inferiore in corrispondenza della pista ciclabile e pedonale pari a $L_{mean,1}=1.40\text{ cd/m}^2$. Il contrasto tra la pista e la strada è pari a 0.78. Basandosi su un'esperienza soggettiva è possibile affermare che l'ambiente risulta sufficientemente illuminato garantendo una **distinzione chiara dalle segnaletica** e degli elementi circostanti e assicurando l'utilizzo confortevole e sicuro della pista senza creare affaticamento visivo.

In corrispondenza degli edifici non si verifica il fenomeno del **light trespass**, infatti, il flusso luminoso si concentra in corrispondenza del piano terra, dove sono presenti le attività commerciali, e la luminanza media raggiunge un valore pari a $L_{mean,2}=2.35\text{ cd/m}^2$ e si riduce progressivamente verso i piani più alti fino a valori di $L_{mean,4}=0.38\text{ cd/m}^2$.

Regione	L_{min} [cd/m ²]	L_{max} [cd/m ²]	L_{mean} [cd/m ²]
1	0.08	6.10	1.40
2	0.23	29.59	2.35
3	0.08	19.17	0.90
4	0.07	2.15	0.38
5	0.09	7.54	1.33
6	0.08	2.81	0.81
7	1.61	2.07	1.81

Via Pio VII



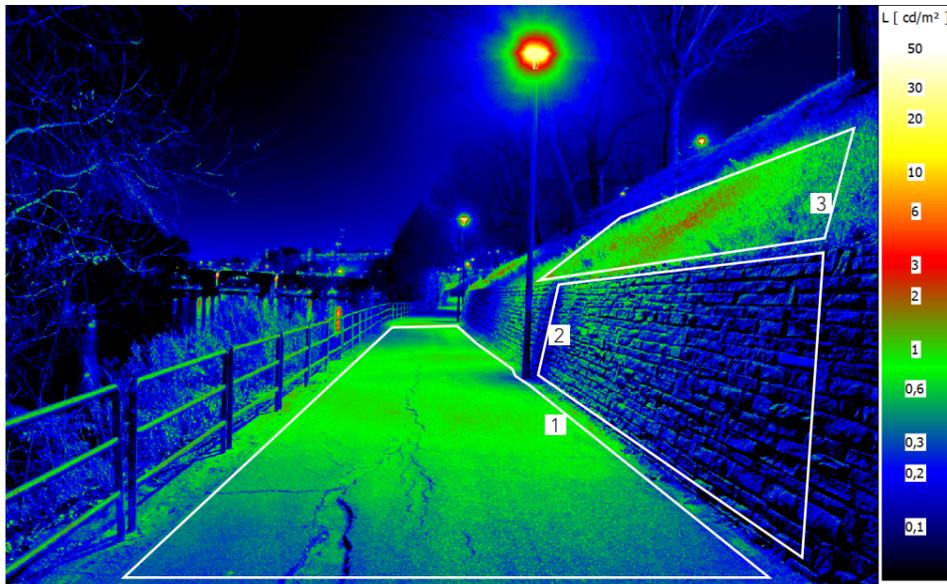
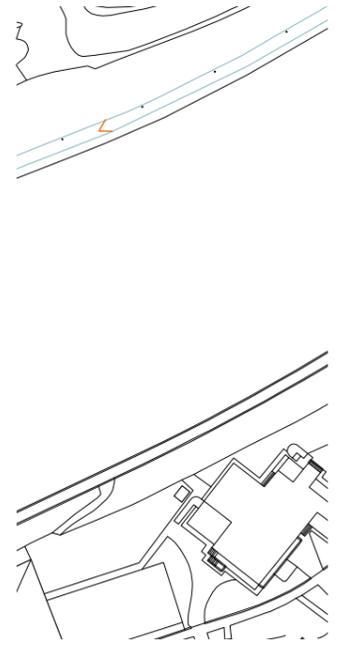
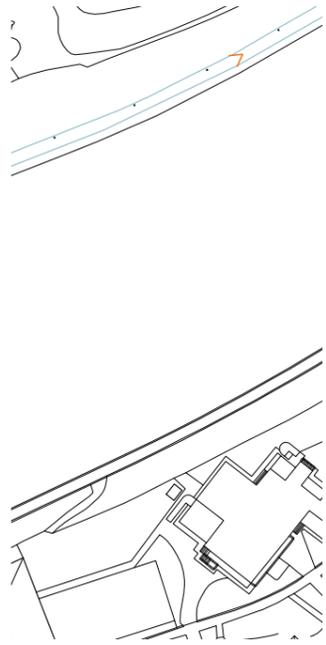
La pista lungo Via Pio VII presenta la situazione più critica poiché sia il percorso ciclabile che quello pedonale risultano **scarsamente illuminati**. Il flusso luminoso emesso dagli apparecchi stradali è rivolto verso la strada ed è in parte schermato dalla presenza delle alberature, per questi motivi la luminanza media in corrispondenza del percorso ciclabile è pari a $L_{\text{mean},1}=0.38 \text{ cd/m}^2$ e lungo il percorso pedonale adiacente raggiunge un valore simile di $L_{\text{mean},2}=0.32 \text{ cd/m}^2$. Il contrasto tra queste due regioni è pari a 1.2.

Lungo la pista ciclabile si alternano zone più e meno illuminate in particolare i tratti di fronte agli ingressi presentano valori di luminanza maggiori rispetto al resto del percorso, pari a 0.45 cd/m^2 .

Come è stato possibile notare, in seguito alle misurazioni e ai sopralluoghi, questa pista ciclabile non presenta una condizione di illuminazione sufficiente per distinguere gli oggetti e garantire un'adeguata visibilità.

Regione	L_{min} [cd/m ²]	L_{max} [cd/m ²]	L_{mean} [cd/m ²]
1	0.03	1.67	0.38
2	0.04	0.88	0.32
3	0.01	2.81	0.13
4	0.06	22.16	1.53
5	0.03	1.37	0.30
6	0.03	0.66	0.19

Parco del Valentino - lungo Po



Il percorso lungo il fiume Po risulta illuminato uniformemente e la luminanza media è pari a $L_{\text{mean},1}=0.56 \text{ cd/m}^2$.

Il flusso luminoso si concentra principalmente verso il percorso e verso l'area verde retrostante l'apparecchio di illuminazione, dove la luminanza media è pari a $L_{\text{mean},3}=0.79 \text{ cd/m}^2$, mentre la luce emessa verso l'alto è limitata dalla schermatura dell'apparecchio contenendo l'inquinamento luminoso nocivo per la flora e la fauna del parco.

Il percorso ciclabile lungo il fiume Po all'interno del parco del Valentino risulta, basandosi su una propria esperienza soggettiva che deriva dai sopralluoghi e dall'utilizzo dell'infrastruttura nelle ore notturne, sufficientemente illuminata, **senza compromettere la visione**.

Regione	$L_{\text{min}} [\text{cd/m}^2]$	$L_{\text{max}} [\text{cd/m}^2]$	$L_{\text{mean}} [\text{cd/m}^2]$
1	0.03	1.83	0.56
2	0.01	1.69	0.20
3	0.03	3.34	0.79
4	0.03	2.65	0.58
5	0.02	2.77	0.17

6.4.3 Misure delle caratteristiche spettrali della luce: considerazioni sugli impatti ambientali

L'ultimo livello di analisi prende in considerazione i parametri principali per la regolazione degli impatti della luce elettrica sulla flora, la fauna e la visibilità del cielo notturno.

Indipendentemente dal contesto, naturale o urbano, all'interno del quale si diffonde la trama luminosa distribuita lungo i percorsi, l'inquinamento luminoso è un fenomeno che estende i propri effetti ben oltre le aree in cui si trovano le sorgenti luminose e non si limita agli spazi immediatamente circostanti ma si propaga per centinaia di chilometri, influenzando contesti distanti.

La scelta dei parametri ha alla base il riferimento normativo UNI 10819:2021 e la legge regionale del Piemonte n°3/2018, e deriva anche dalle informazioni ricavate dalle linee guida, la letteratura scientifica e l'analisi delle applicazioni progettuali.

Due parametri fondamentali, emersi dalle recenti ricerche come principali responsabili degli effetti nocivi sugli ecosistemi, sono la temperatura di colore correlata e la lunghezza d'onda. La luce blu, in particolare, ha un forte impatto sugli animali, influenzandone la percezione visiva, l'orientamento e la capacità di reperire cibo. Nelle piante sono presenti recettori sensibili alla luce blu che altera la crescita, il processo di fotosintesi clorofilliana, la fioritura e la caduta delle foglie.

La norma UNI 10819 per il contenimento dell'inquinamento luminoso riporta le modalità per il calcolo dell'**indice spettrale I_{sg}**, un indicatore che caratterizza le proprietà spettrali delle sorgenti luminose relativamente alla quantità di luce blu emessa rispetto alla radianza totale che può essere rilevata dall'occhio umano relativa alla curva spettrale di visibilità fotopica.

L'indice spettrale I_{sg} è stato calcolato, come riportato nella formula seguente¹³¹, a partire dall'energia associata alle lunghezze d'onda in un intervallo di 380-500 nm (λ₁-λ₂) e quella associata ad un intervallo di 380-780 nm (λ₁-λ₃). I valori relativi a quest'ultimo intervallo sono stati moltiplicati per l'energia associata alla curva di visibilità relativa fotopica.

$$I_{sg} = -2,5 \times \log \frac{\sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) \Delta(\lambda)}{\sum_{\lambda_1}^{\lambda_3} E(\lambda) \times V(\lambda) \Delta(\lambda)}$$

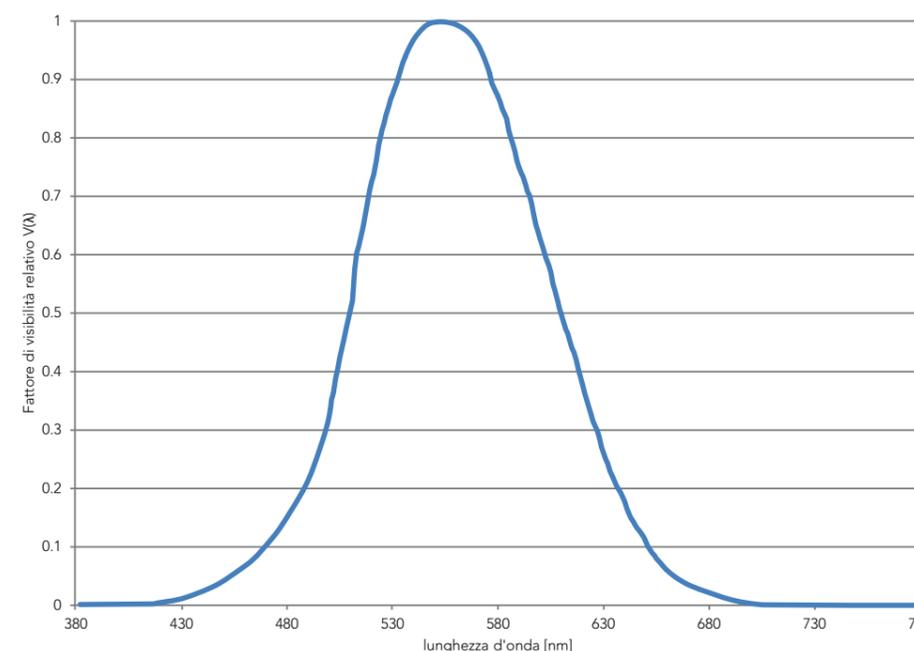


Fig.14
Curva di visibilità relativa fotopica

I_{sg} è analogo all'indice G inserito all'interno del Regolamento dell'Andalusia per la protezione del cielo notturno.

A valori più piccoli di G corrisponde una maggiore emissione di luce blu nello spettro del visibile.¹³²

I requisiti per l'indice G, riportati in tabella 4, vengono definiti in base alle zone ambientali.¹³³

ZONE AMBIENTALI	Indice G
E1,E2,E3 contenuta in E1	G≥2.0
E3	G≥1.5
E4	G≥1.0

132 Junta de Andalucía, Spectral G index, 2019, pag. 13

133 Per la classificazione delle zone ambientali fare riferimento alla Tabella 14, capitolo 4

Tabella 4.
Indici G, da unta de Andalucía, Spectral G index, 2019

Per i percorsi ciclabili lungo Corso Castelfidardo, Corso Re Umberto e Via Pio VII, è stato considerato il valore G≥1.0 poiché sono inseriti all'interno di un contesto urbano densamente abitato, mentre per la pista lungo il fiume Po è stato considerato l'indice G≥1.5 poiché all'interno del contesto del parco è necessario contenere maggiormente le emissioni di luce blu.

Un altro parametro geometrico da tenere in considerazione è il **rapporto tra le interdistanze e le altezze degli apparecchi**, che deve essere > 3.7 per evitare eccessive concentrazioni di apparecchi e la presenza di quantità di luce eccessiva.

Per preservare la visibilità del cielo notturno e ridurre gli effetti negativi sulle attività notturne degli animali, è inoltre importante evitare dispersioni verso l'alto. A tal fine, si utilizzano apparecchi di tipo "cut-off", che minimizzano l'emissione di luce al di sopra dell'orizzonte. Un

131 Vedere capitolo 4, paragrafo 4.3.1 "UNI 10819:2021"

parametro di verifica è **l'indice Rn** il rapporto medio di emissione superiore dato dal rapporto tra il flusso luminoso emesso verso l'alto e il flusso totale emesso.

Infine, un parametro legato alla sorgente luminosa è **l'efficienza luminosa**, che, secondo la legge regionale del Piemonte, deve essere superiore a 90 lm/W. L'efficienza luminosa, il rapporto tra il flusso luminoso generato da una sorgente e la potenza elettrica consumata, rappresenta un indicatore fondamentale per ridurre il consumo energetico e limitare l'impatto ambientale delle sorgenti luminose.

Dai dati ricavati dalle misurazioni sono stati estrapolati i grafici relativi alla distribuzione della potenza spettrale e i grafici della temperatura di colore.

La curva SPD rappresenta la distribuzione della potenza nelle diverse lunghezze d'onda della luce e viene utilizzata per analizzare e comprendere le caratteristiche di una sorgente luminosa. Associate a questo grafico possono essere valutate anche la resa cromatica, la temperatura del colore e la qualità della luce emessa da una fonte luminosa.

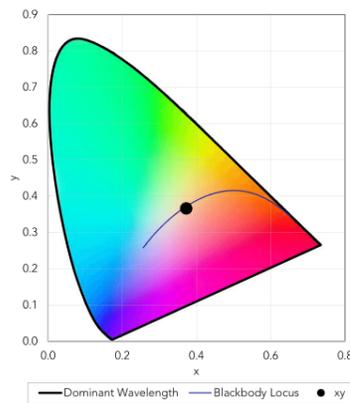
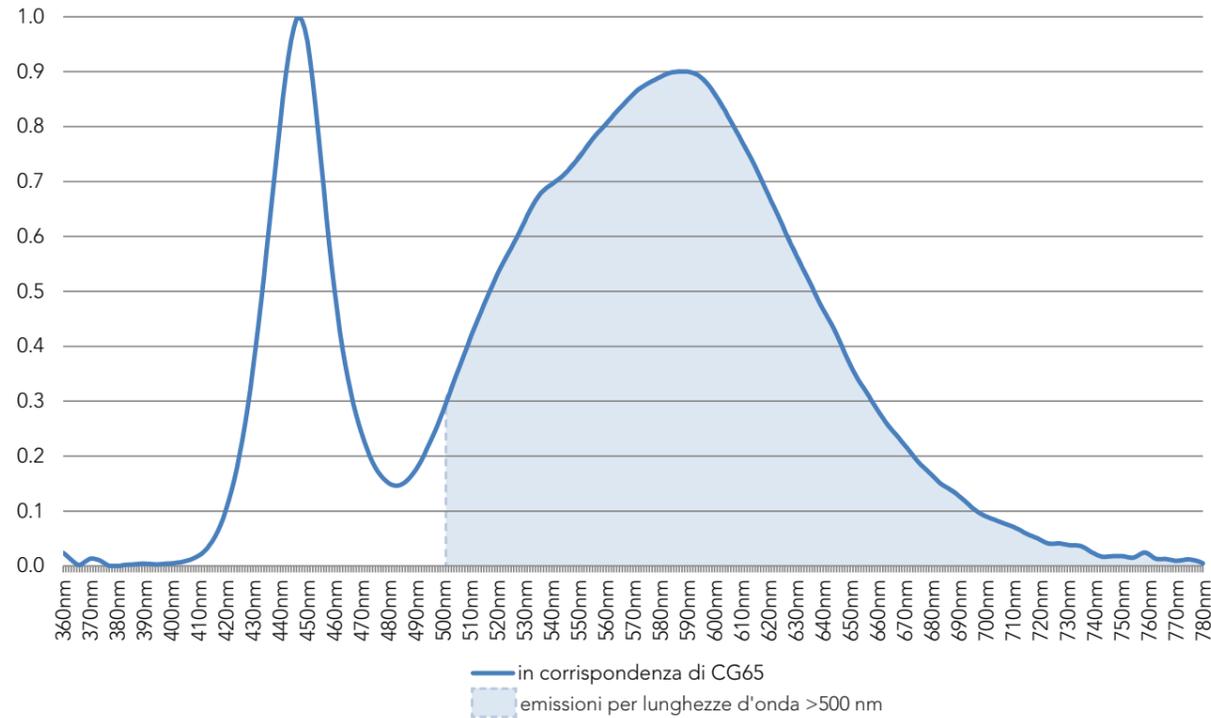
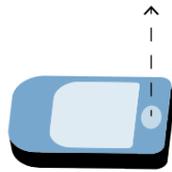
In particolare, all'interno delle schede seguenti, sono riportati i grafici della distribuzione spettrale misurata in corrispondenza di un apparecchio e le distribuzioni di potenza rilevate nelle due direzioni di marcia calcolate in un punto all'inizio, a metà e a fine del tratto considerato.

Il grafico dello spazio colore viene definito dalla Commissione internazionale per l'illuminazione CIE nel 1931 per la definizione delle proprietà fisiche dei colori e la percezione da parte dell'occhio umano del colore per le lunghezze d'onda comprese nello spettro del visibile.

Il diagramma permette di confrontare la **temperatura di colore** della sorgente con quella del corpo nero, essendo la temperatura di colore correlata definita come la temperatura a cui dovrebbe trovarsi il corpo nero in modo tale che la radiazione emessa risulti cromaticamente simile a quella della sorgente analizzata. Il punto rappresenta le coordinate cromatiche della sorgente mentre la curva rappresenta l'insieme delle coordinate cromatiche del corpo nero alle diverse temperature di colore.

Corso Castelfidardo

Spettro luminoso in corrispondenza di CG65



Lungo Corso Castelfidardo sono presenti delle sorgenti a LED con una distribuzione della potenza caratterizzata da due picchi: uno nella regione blu dello spettro, a 450 nm, e uno nella regione gialla a circa 580 nm.

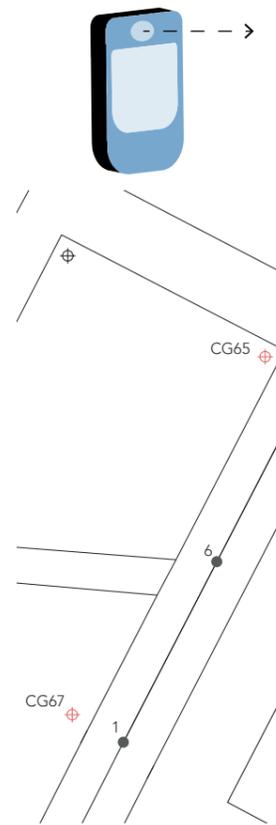
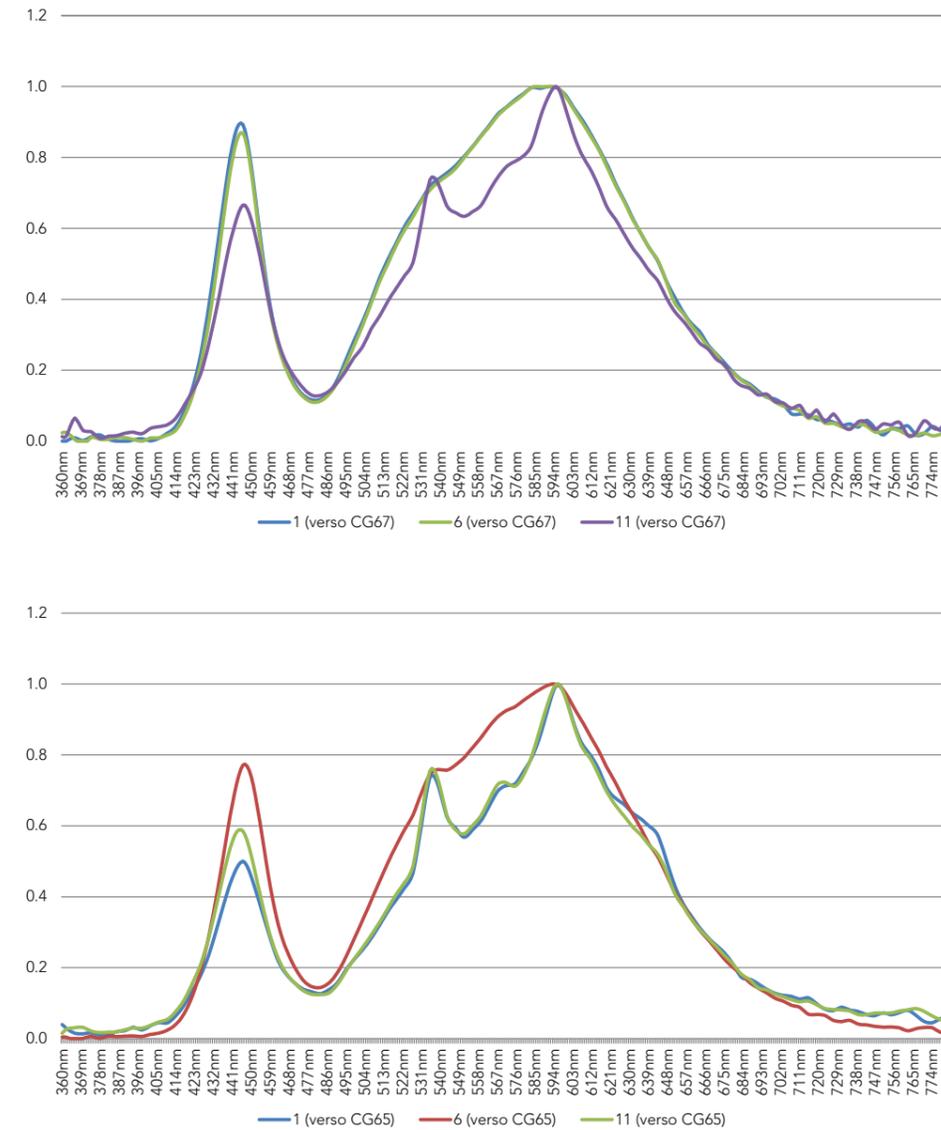
Nella direzione dell'apparecchio CG67 si verifica un calo della radiazione blu al punto 11, mentre in direzione dell'apparecchio CG65 la radiazione blu raggiunge un massimo nel punto centrale del percorso.

A causa dell'elevata quantità di energia emessa alle basse lunghezze d'onda, in corrispondenza del picco a 450 nm, l'indice I_{sg} calcolato risulta non verificato.

Come è possibile notare dal grafico dello spazio colore la sorgente si posiziona sulla curva emettendo una luce bianca neutra di 4140 K. Entrambi questi parametri non rispettano le linee guida per il contenimento dell'inquinamento luminoso interferendo con i cicli naturali degli esseri viventi.

Inoltre, anche il rapporto interdistanza/h. della sorgente non risulta verificato, gli apparecchi potrebbero essere troppo vicini tra loro causando sovrailluminamento e una conseguente spesa energetica elevata.

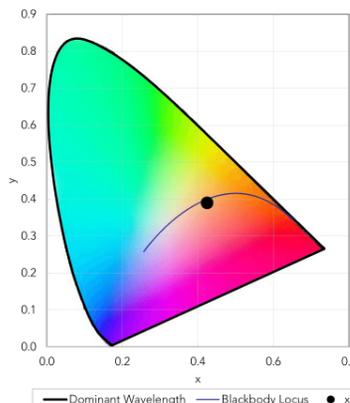
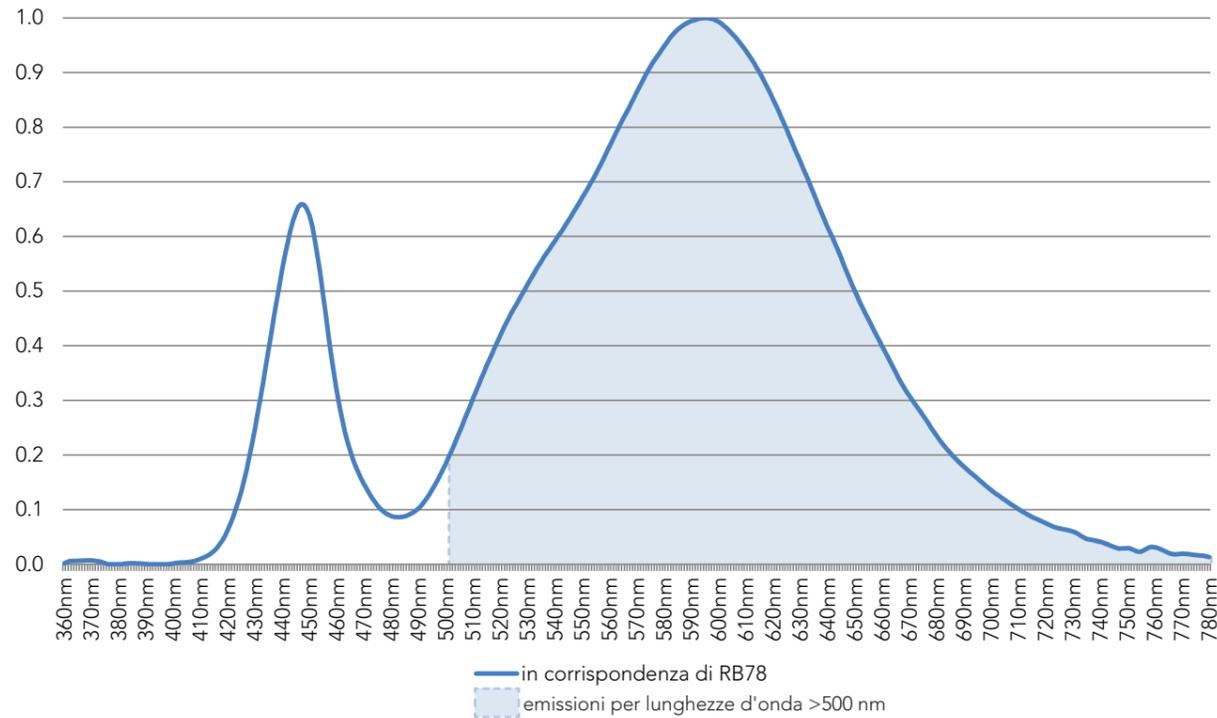
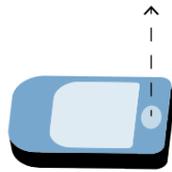
Spettri luminosi nelle due direzioni di marcia



Controllo dell'inquinamento luminoso			
Parametri		Linee guida	
Temperatura di colore correlata [K]	4140	≤ 3000	NON VERIFICATO
Efficienza luminosa [lm/W]	106.1	>90	VERIFICATO
R_n [%]	0	≤ 5	VERIFICATO
Indice I_{sg}	0.82	≥ 1.0	NON VERIFICATO
Rapporto tra interdistanza e h. della sorgente	3.37	>3.7	NON VERIFICATO

Corso Re Umberto

Spettro luminoso in corrispondenza di RB78



La sorgente a LED utilizzata per illuminare la pista lungo Corso Re Umberto presenta una distribuzione della potenza con due picchi: uno nella regione blu dello spettro, a circa 450 nm, e uno nella regione giallarancione a circa 590 nm.

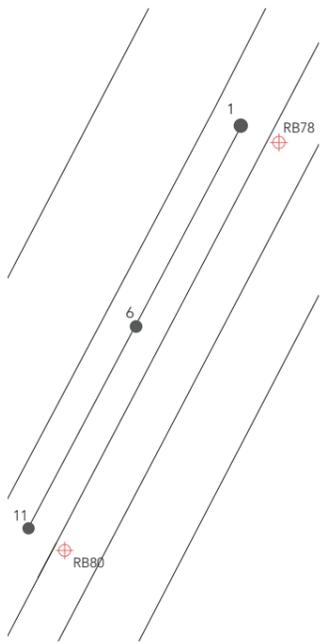
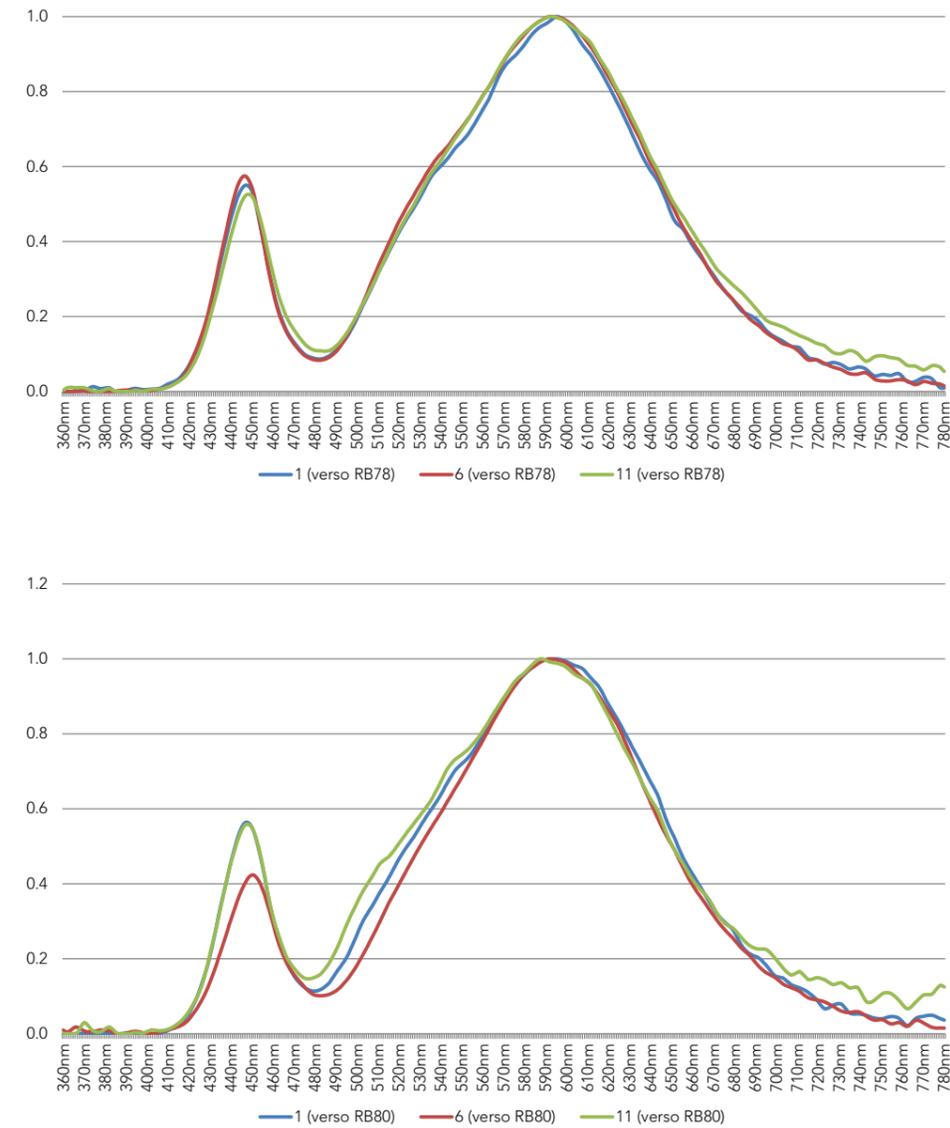
In questo caso, rispetto al tratto ciclabile di Castelfidardo, l'indice I_{sg} risulta verificato, il picco a 450 nm è più contenuto e di conseguenza la quantità di luce emessa è notevolmente inferiore.

Inoltre, la lunghezza d'onda dominante in questo tratto è pari a 595 nm mentre lungo Castelfidardo risulta pari a 447 nm.

Nella direzione dell'apparecchio RB78 la distribuzione spettrale della potenza rimane costante per tutto il tratto di pista considerato mentre nel verso opposto, in corrispondenza nel punto centrale 6, si verifica un calo della radiazione blu. Il picco in corrispondente della zona gialla rimane invariato.

La soluzione illuminotecnica applicata lungo questo percorso ciclopeditonale risulta meno impattante nei confronti della fauna e flora locale poiché la temperatura di colore tende al bianco caldo (3100 K) e non sono presenti emissioni luminose dirette verso l'alto.

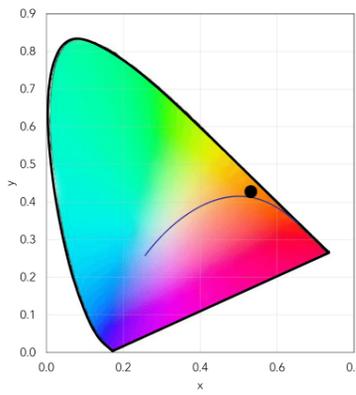
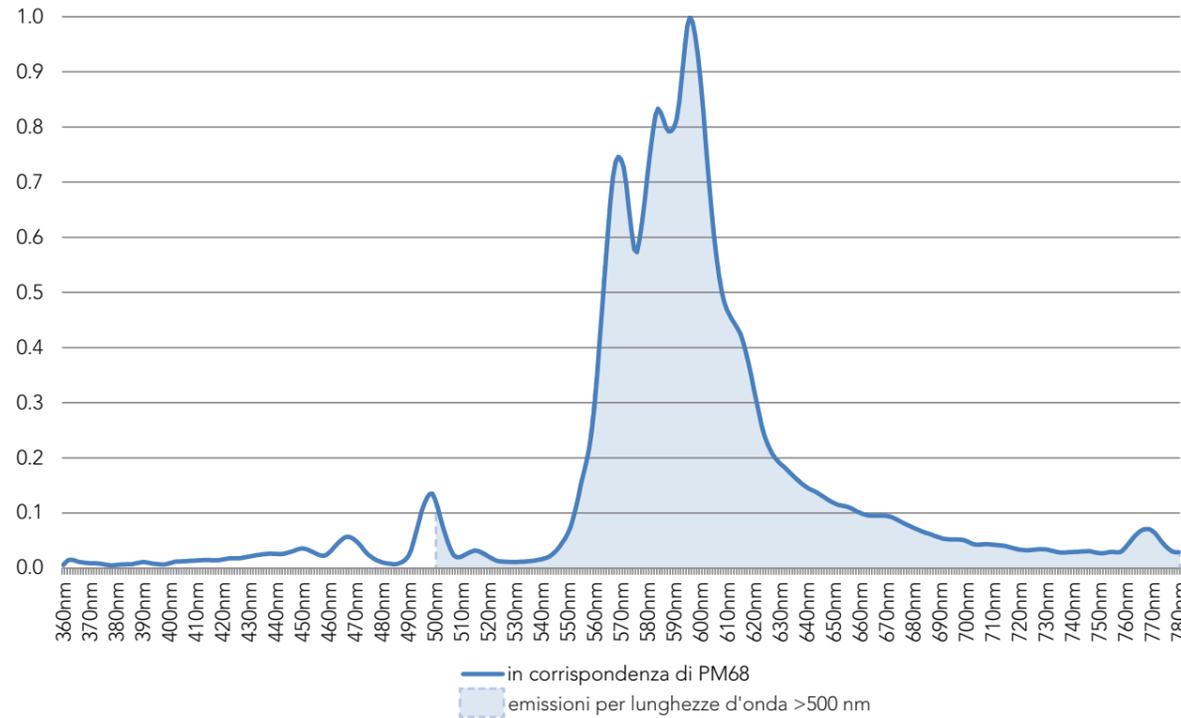
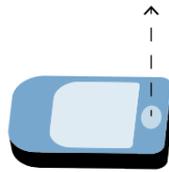
Spettri luminosi nelle due direzioni di marcia



Controllo dell'inquinamento luminoso			
Parametri		Linee guida	
Temperatura di colore correlata [K]	3100	≤ 3000	NON VERIFICATO
Efficienza luminosa [lm/W]	102.5	>90	VERIFICATO
R_n [%]	0	≤5	VERIFICATO
Indice I_{sg}	1.28	≥1.0	VERIFICATO
Rapporto tra interdistanza e h. della sorgente	2.67	>3.7	NON VERIFICATO

Via Pio VII

Spettro luminoso in corrispondenza di PM68



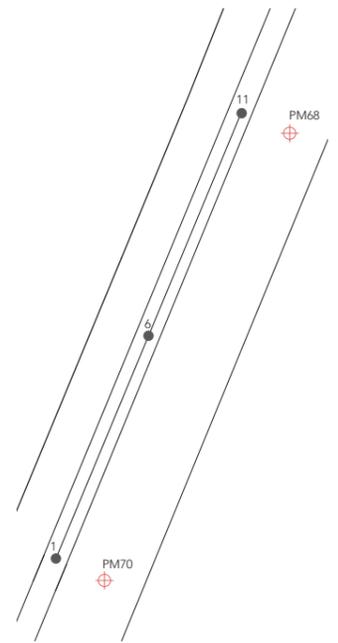
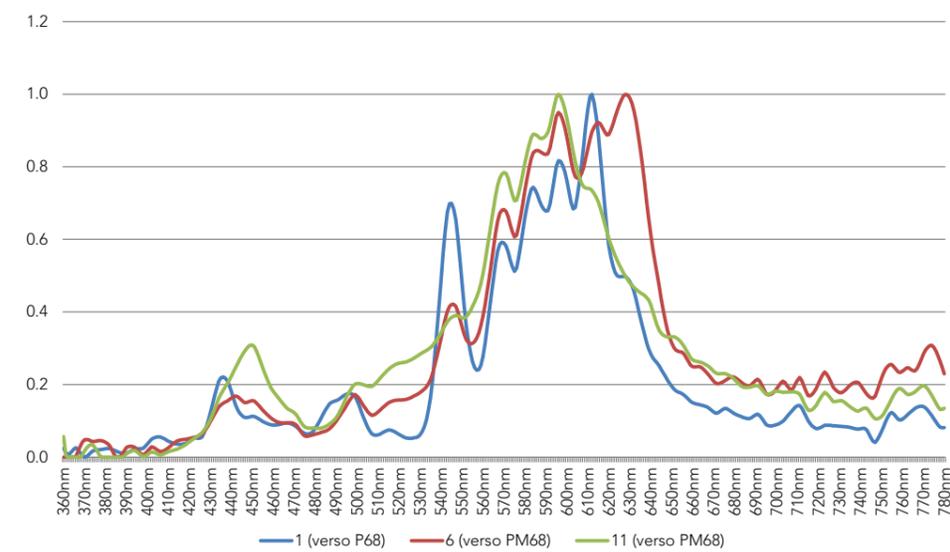
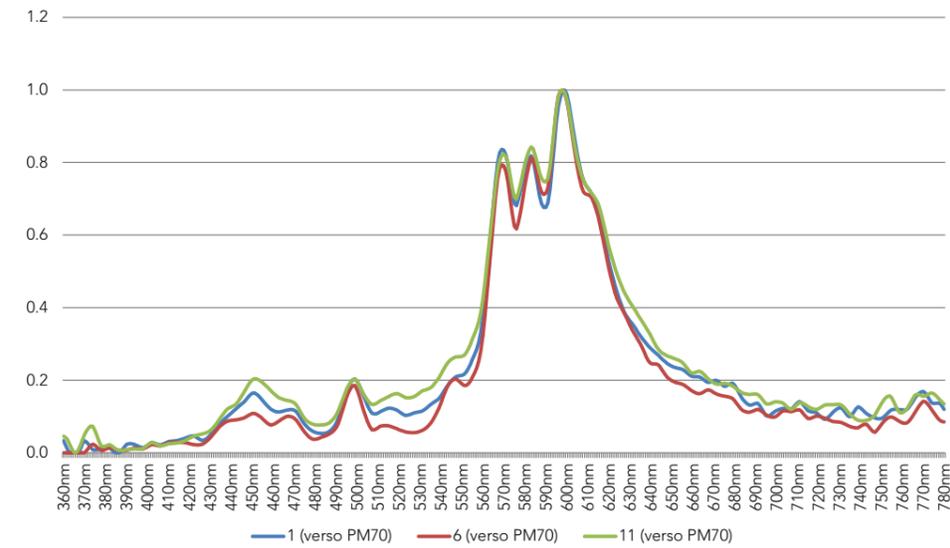
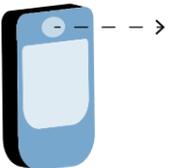
Il sistema di illuminazione lungo il percorso ciclabile considerato in Via Pio VII si distingue dagli altri analizzati per l'utilizzo di sorgenti a scarica a vapori di sodio.

Lo spettro di emissione è discontinuo e presenta molteplici picchi di emissione prevalentemente concentrati nella regione arancione dello spettro.

Come è possibile notare dalla verifica dei parametri di controllo, caratterizzati da una minore emissione di lunghezze d'onda blu e da una bassa temperatura di colore concentrata nella gamma del giallo-arancione, le proprietà spettrali di questa tipologia di sorgente luminosa risultano le più favorevoli per il controllo degli effetti negativi dell'inquinamento luminoso, infatti l'indice I_{sg} è pari a 2,5, il più alto tra i casi analizzati. Tuttavia, trattandosi di una tecnologia tradizionale e non a LED, presenta i maggiori consumi energetici tra le soluzioni analizzate.

Dal punto di vista della percezione umana, questo sistema non risulta ottimale, poiché il valore di resa cromatica, pari a circa 47, è significativamente inferiore rispetto a quello degli altri sistemi, che si attestano intorno a 73.

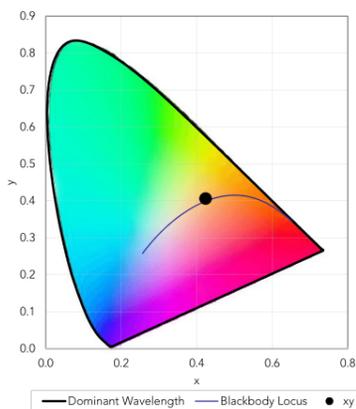
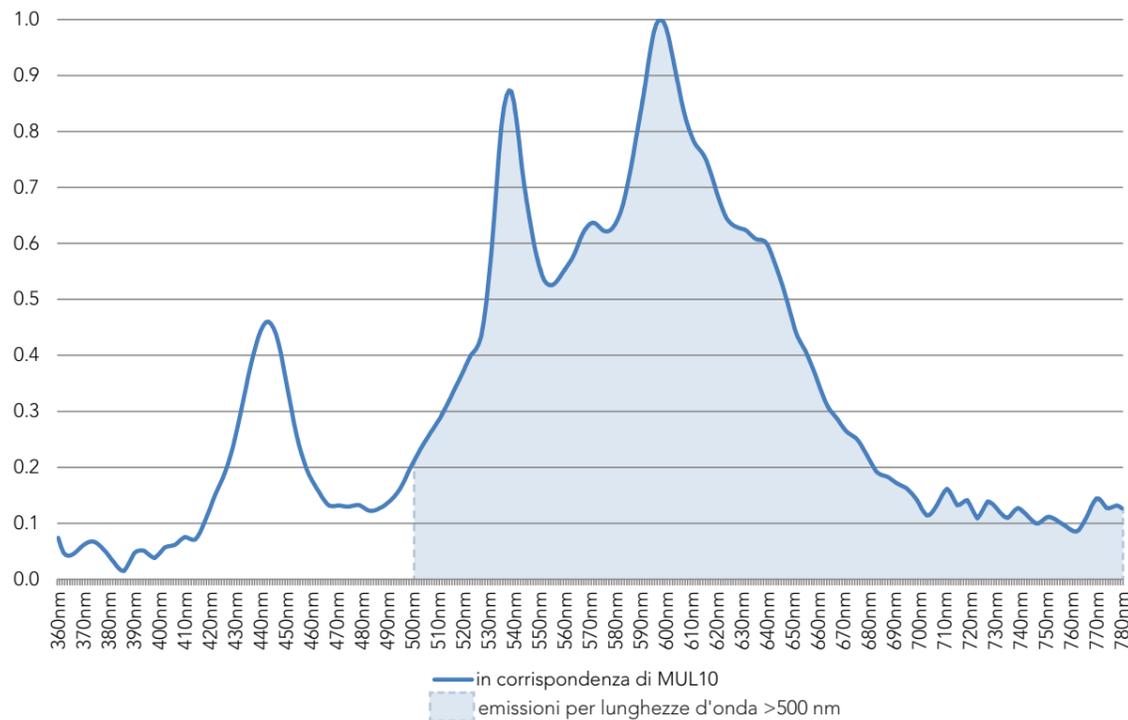
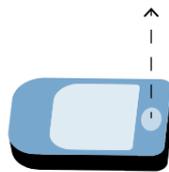
Spettri luminosi nelle due direzioni di marcia



Controllo dell'inquinamento luminoso			
Parametri		Linee guida	
Temperatura di colore correlata [K]	2046	≤ 3000	VERIFICATO
Efficienza luminosa [lm/W]	-	>90	-
R_n [%]	-	≤5	-
Indice I_{sg}	2.50	≥1.0	VERIFICATO
Rapporto tra interdistanza e h. della sorgente	3.31	>3.7	NON VERIFICATO

Parco del Valentino - lungo Po

Spettro luminoso in corrispondenza di MUL10



Lungo la pista ciclabile che costeggia il fiume Po sono presenti delle sorgenti a LED caratterizzate da una distribuzione della potenza con due picchi: nella regione blu dello spettro, a circa 440 nm, e nella regione gialla-arancione a circa 590 nm.

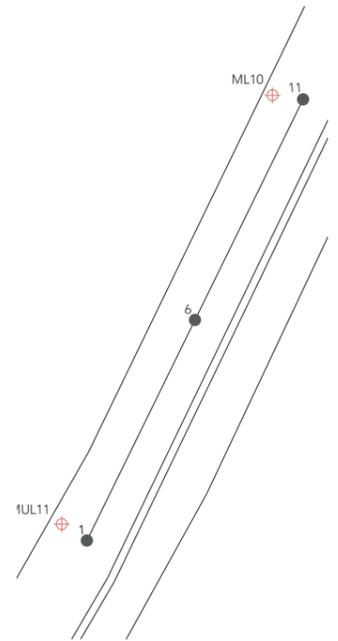
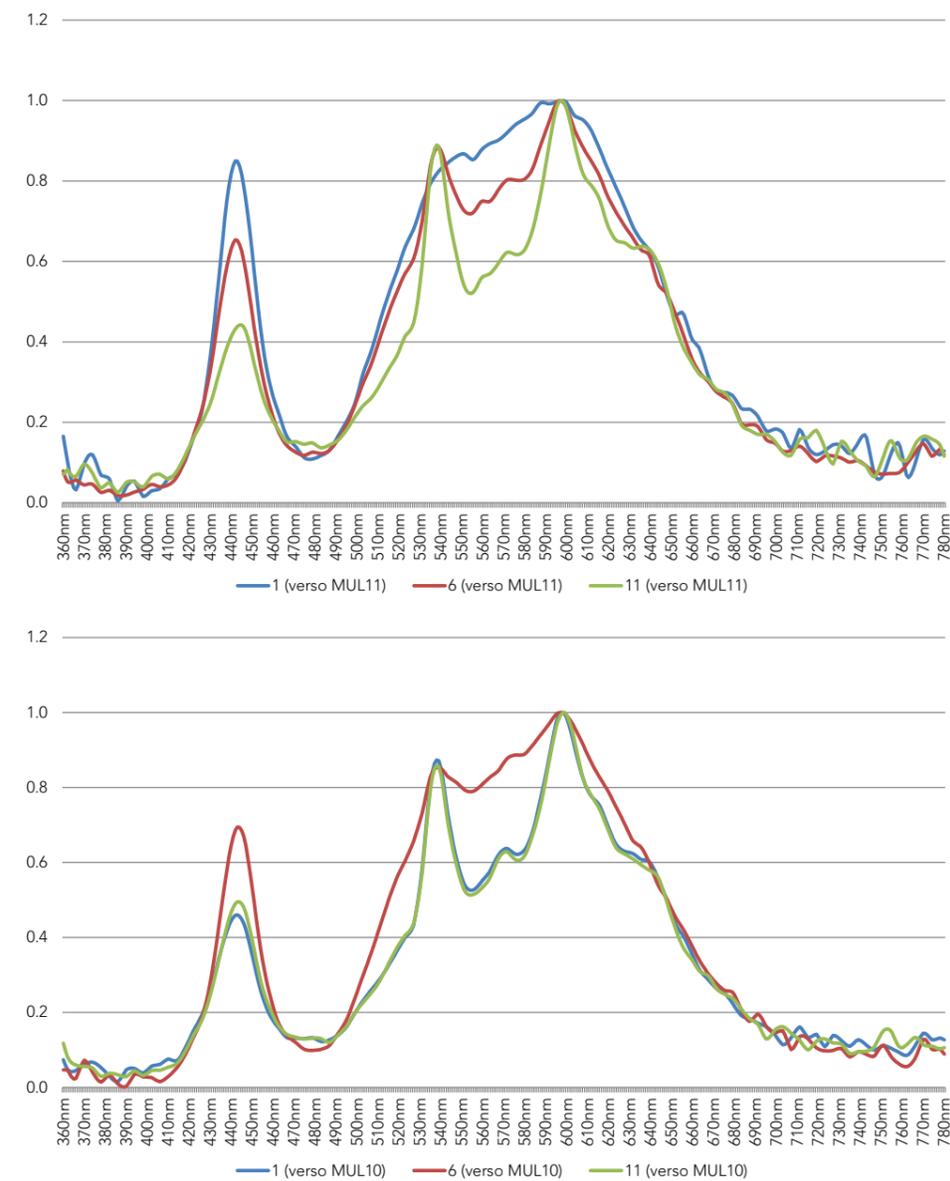
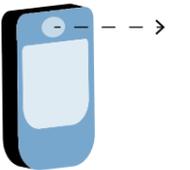
Avvicinandosi al punto 11 verso l'apparecchio MUL10 lo strumento di misurazione intercetta un'altra sorgente luminosa a scarica, per questo motivo gli spettri presentano due picchi attorno ai 540 nm e ai 610 nm.

Si può notare anche spostandosi dal punto 1 al punto 11 in direzione dell'apparecchio MUL11, il picco nella regione blu dello spettro diminuisce in modo regolare.

I parametri relativi alla temperatura di colore e alla quantità di radiazione blu emessa non sono rispettati, aspetto particolarmente critico considerando che il sistema di illuminazione si trova all'interno di un contesto naturale in cui la salvaguardia degli ecosistemi e la limitazione dell'inquinamento luminoso sono priorità fondamentali. Per questi motivi, infatti, viene considerato un limite più stringente per quanto riguarda l'indice I_{sg} che in questo caso dovrebbe risultare maggiore di 1.5 ma che non risulta verificato.

Rispetto agli altri sedimi analizzati, il rapporto tra l'interdistanza e l'altezza della sorgente, pari a 4.53, è verificato.

Spettri luminosi nelle due direzioni di marcia



Controllo dell'inquinamento luminoso			
Parametri		Linee guida	
Temperatura di colore correlata [K]	3921	≤ 3000	NON VERIFICATO
Efficienza luminosa [lm/W]	88.2	>90	NON VERIFICATO
R_n [%]	0	≤5	VERIFICATO
Indice I_{sg}	0.96	≥1.5	NON VERIFICATO
Rapporto tra interdistanza e h. della sorgente	4.53	>3.7	VERIFICATO

7. Conclusioni

L'analisi condotta nell'ambito di questa tesi ha permesso di esplorare la relazione tra la mobilità ciclabile e l'illuminazione stradale, facendo riferimento alle piste ciclabili della città di Torino.

Inizialmente, è stato necessario conoscere in che modo il tema dell'illuminazione per le piste ciclabili viene trattato all'interno della letteratura scientifica, dei testi normativi e legislativi soffermandosi sulla relazione con l'utente e gli effetti della luce elettrica sugli ecosistemi. Successivamente, è stata condotta un'analisi critica del caso studio, le piste ciclabili di Torino, con il fine di individuare i casi ricorrenti per la stesura di schede descrittive. Infine, sono state effettuate una serie di misurazioni sul campo lungo le piste ciclabili selezionate. Attraverso l'analisi sperimentale condotta sono state valutate le prestazioni dei sistemi di illuminazione lungo i percorsi ciclabili, mettendo in evidenza punti di forza e criticità legati alla sicurezza, alla percezione dell'ambiente e alla sostenibilità.

Gli **esiti dell'analisi sperimentale** sono stati messi a sistema e riassunti all'interno della tabella 1 attraverso la quale i risultati sono stati restituiti secondo una scala cromatica basata su tre colori: rosso, giallo e verde.

Il colore rosso è stato utilizzato per identificare una situazione sfavorevole, nel caso in cui i requisiti normativi o le linee guida non siano stati rispettati.

Il colore giallo indica una situazione intermedia. Ad esempio, è stato utilizzato nel caso in cui il livello di illuminamento superi i limiti previsti per la sovrailluminazione. Il colore verde è stato utilizzato nel caso in cui siano stati rispettati i limiti normati o legislativi, indicando una condizione favorevole. Attraverso questo confronto è stato possibile individuare gli aspetti che per ogni pista risultano più critici e su cui è possibile agire per migliorare le prestazioni degli apparecchi e la qualità dell'ambiente luminoso.

Infine, sono stati definiti degli **diagrammi radar qualitativi** che propongono una valutazione soggettiva legata agli ambiti dell'analisi sperimentale (fruizione e sicurezza percepita, percezione dell'ambiente, impatti ambientali).

Alcuni tratti, come Corso Castelfidardo e Corso Re Umberto risultano caratterizzati da un sovrailluminamento, finalizzato ad incrementare la percezione di sicurezza, ma con un impatto negativo in termini di consumo energetico e inquinamento luminoso.

Inoltre, **lungo Corso Castelfidardo** l'elevata quantità di luce compromette il comfort visivo, causando effetti negativi sulla percezione visiva. Il sovrailluminamento, sebbene possa aumentare la percezione di sicurezza, non sempre si traduce in un miglioramento effettivo delle condizioni di visibilità e fruizione della pista. In alcune aree, un'illuminazione eccessiva genera condizioni di illuminazione che possono ridurre il comfort visivo degli utenti. Al contrario, nelle zone con illuminazione carente, il rischio di incidenti e l'insicurezza percepita risultano accentuati, disincentivando l'uso della bicicletta nelle ore serali. Per quanto riguarda il contenimento degli impatti ambientali, la maggior parte dei parametri non risulta rispettata. Nonostante, a livello teorico, la pista ciclabile su Corso Castelfidardo rappresenti un caso ottimale grazie alla presenza di un sistema di illuminazione dedicato e alla separazione del percorso ciclabile dalla carreggiata stradale, le **prestazioni effettive** risultano **sfavorevoli**.

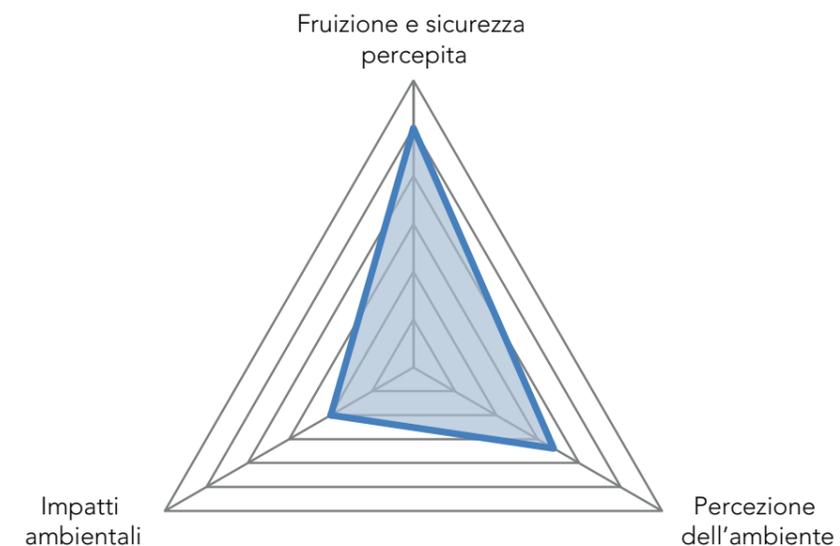


Fig.1
Diagramma radar - Corso
Castelfidardo

Lungo la **pista ciclopedonale di Corso Re Umberto** è fondamentale garantire la possibilità di individuare e riconoscere i pedoni. Nonostante il valore di illuminamento orizzontale medio per il sovradimensionamento dell'impianto non risulti rispettato, la percezione dell'ambiente risulta adeguata, consentendo di distinguere chiaramente la segnaletica e gli altri utenti della strada. Inoltre, i requisiti per il controllo degli impatti ambientali sono prevalentemente soddisfatti, in particolare per quanto riguarda l'indice I_{sg} , il rapporto medio di emissione superiore R_n e il valore di efficienza luminosa. Complessivamente, la pista evidenzia la situazione **più favorevole** tra quelle analizzate in cui l'attenzione verso i tre ambiti di analisi risulta meglio equilibrata.

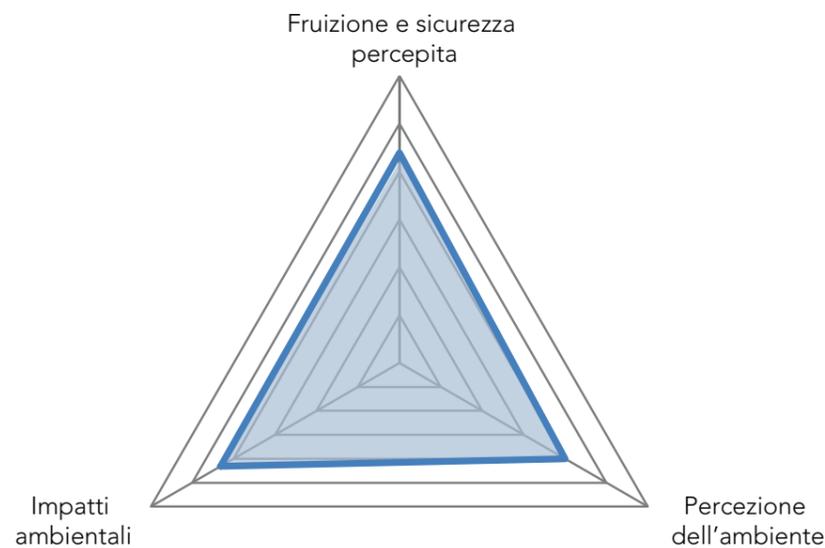


Fig.2
Diagramma radar - Corso Re Umberto

La **pista ciclabile lungo Via Pio VII** presenta dei livelli di illuminazione **insufficienti**, compromettendo la visibilità e la sicurezza degli utenti, specialmente nelle ore notturne. Questa pista, infatti, non presenta il supporto di un'illuminazione dedicata ma viene illuminata indirettamente dal sistema di illuminazione direzionato verso la strada. In questo tratto risulta difficile individuare altri utenti della strada e gli eventuali ostacoli, rendendo necessaria la presenza di una fonte luminosa installata sulla bicicletta. Dal punto di vista degli impatti ambientali, basandosi sui parametri che è stato possibile ricavare, il sistema di illuminazione lungo questa pista ciclabile presenta le caratteristiche spettrali più adeguate per minimizzare l'impatto sugli ecosistemi. Tuttavia, rispetto ai LED, le sorgenti a scarica presenti lungo Via Pio VII risultano meno efficienti dal punto di vista energetico, comportando un consumo più elevato.

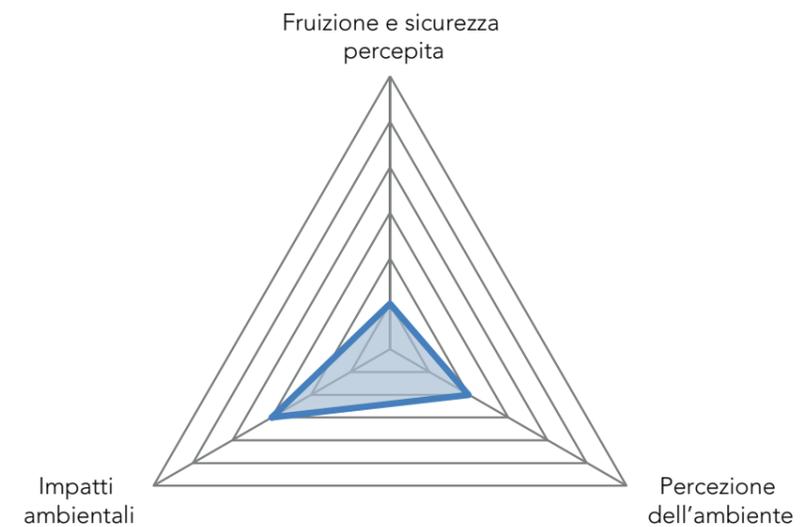


Fig.3
Diagramma radar - Via Pio VII

L'ultimo **percorso ciclabile, situato all'interno del Parco del Valentino**, è particolarmente interessante per l'interazione dell'illuminazione con un ambiente naturale.

Lungo il tratto considerato il parametro di illuminamento verticale minimo, requisito aggiuntivo per il riconoscimento facciale, importante soprattutto in un contesto isolato come questo rispetto agli altri percorsi analizzati, non è rispettato limitando la sensazione di sicurezza percepita. Inoltre, nonostante all'interno di un contesto naturale sia necessaria maggiore attenzione alla limitazione della quantità di luce blu emessa, i parametri relativi alla temperatura di colore correlata e l'indice spettrale I_{sg} , non risultano rispettati.

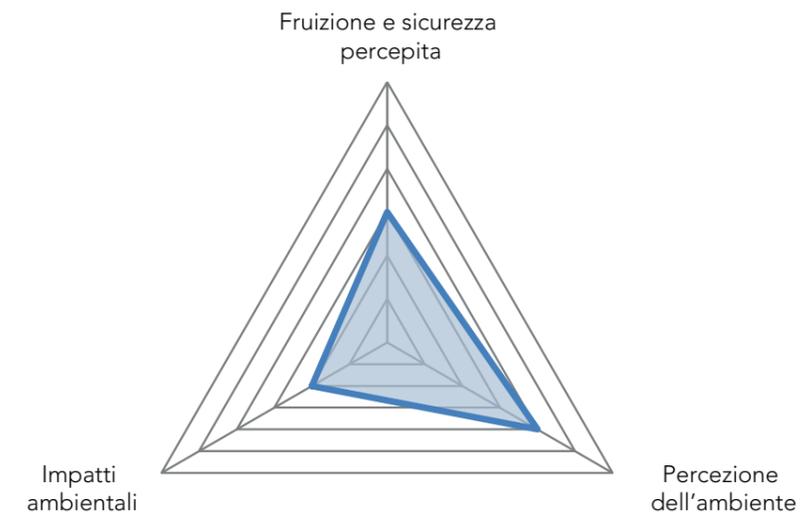


Fig.4
Diagramma radar - Parco del Valentino-lungo Po

Il confronto dei grafici qualitativi relativi a ciascun sedime evidenzia un insieme di **scenari eterogenei**, caratterizzati da configurazioni differenti di parametri geometrici e illuminotecnici da cui deriva la capacità dell'impianto di illuminazione di rispondere alle esigenze degli utenti e alla necessità di limitare gli impatti ambientali.

Sintesi dei risultati dell'analisi sperimentale

Legenda

- Situazione favorevole
- Situazione intermedia
- Situazione sfavorevole
- Dato non rilevato

			Corso Castelfidardo	Corso Re Umberto	Via Pio VII	Parco del Valentino-lungo Po
			Illuminazione dedicata	Illuminazione pista e strada	Illuminazione non dedicata	Illuminazione dedicata
Livelli di analisi	Parametri					
Fruizione e sicurezza percepita	Illuminamento orizzontale medio (E _{h,m})	[lx]	57.4 > 10+25%* *il valore di illuminamento medio supera il requisito da normativa UNI EN 13201-2 per il sovradimensionamento dell'impianto	39.6 > 10+25%* *il valore di illuminamento medio supera il requisito da normativa UNI EN 13201-2 per il sovradimensionamento dell'impianto	4.6 < 10	12.8 > 10+25%* *il valore di illuminamento medio supera il requisito da normativa UNI EN 13201-2 per il sovradimensionamento dell'impianto
	Illuminamento orizzontale minimo (E _{h,min})	[lx]	27.4 > 2.0	18.8 > 2.0	1.1 < 2.0	4.5 > 2.0
	Illuminamento verticale minimo (E _{v,min})	[lx]	8.3 > 3.0 (verso CG67) 11.7 > 3.0 (verso CG65)	5.4 > 3.0 (verso RB78) 5.8 > 3.0 (verso RB80)	0.6 < 3.0 (verso PM70) 1.2 < 3.0 (verso PM68)	2.1 < 3.0 (verso MUL11) 2.0 < 3.0 (verso MUL10)
Percezione dell'ambiente	Contrasti di luminanza	-	1.5	0.78	1.2	-
	Sensazione di comfort visivo	-	Sensazione di abbagliamento e affaticamento visivo che compromettono il comfort visivo	Percezione adeguata dell'ambiente, è possibile distinguere la segnaletica e gli altri utenti della strada senza compromettere la visione	Visibilità scarsa e assenza di comfort visivo, è difficile individuare altri utenti della strada e gli ostacoli	Percezione adeguata dell'ambiente, senza compromettere la visione
Impatti ambientali	Temperatura di colore correlata	[K]	4140 > 3000	3100 > 3000	2046 < 3000	3921 > 3000
	Efficienza luminosa	[lm/W]	106.1 > 90	102.5 > 90	-	88.2 < 90
	R _n	[%]	0 ≤ 5	0 ≤ 5	-	0 ≤ 5
	Indice I _{sg}	[-]	0.82 < 1.0	1.28 ≥ 1.0	2.50 ≥ 1.0	0.96 < 1.5
	Rapporto tra interdistanza e h. della sorgente	[-]	3.37 < 3.7	2.67 < 3.7	3.31 < 3.7	4.53 > 3.7

Tabella 1.
Tabella di sintesi dei risultati

Per concludere, la ricerca pone l'attenzione sull'importanza di adottare un **approccio integrato** alla progettazione dei sistemi di illuminazione, considerando una pluralità di fattori, non solamente normativi ma anche ambientali, come dimostrano le ricerche e gli articoli scientifici.

È necessario individuare un equilibrio tra i parametri per bilanciare le necessità dell'uomo con la salvaguardia ambientale poiché una progettazione illuminotecnica esclusivamente antropocentrica potrebbe compromettere la sopravvivenza di piante e animali, mentre un approccio focalizzato unicamente sulla tutela ambientale potrebbe ridurre la sicurezza e il comfort degli utenti, disincentivando l'uso delle piste ciclabili.

Un sistema d'illuminazione efficace si integra a supporto della pista ciclabile tenendo in considerazione i parametri geometrici, come la sua posizione rispetto alla carreggiata, e i parametri illuminotecnici, per spostarsi da una prospettiva esclusivamente Human Centric e ampliare l'attenzione verso tutte le forme di vita coinvolte, valutando non solo il livello di sicurezza percepita e il comfort da parte dell'utente, ma anche le conseguenze sugli ecosistemi.

Dal momento che le piste ciclabili costituiscono un elemento centrale della mobilità sostenibile è necessario che anche l'illuminazione risponda agli stessi principi di sostenibilità energetica e ambientale attraverso l'adozione di soluzioni tecnologiche che limitano l'impatto sull'ambiente. A partire dalle considerazioni finali del lavoro di tesi, è possibile porre le basi per ulteriori temi di ricerca e approfondimento come l'impiego di sistemi adattivi per la gestione e controllo dell'illuminazione. Questi sistemi, basati sulla presenza di sensori, permettono di regolare l'intensità luminosa e la temperatura di colore in funzione della presenza degli utenti e dell'orario, introducendo così la variabile tempo come fattore della progettazione. Infine, un'illuminazione adattiva e dinamica garantisce un adeguamento del sistema alle condizioni d'uso mutevoli, rappresentando una possibile soluzione per favorire il raggiungimento dell'equilibrio tra le esigenze di sostenibilità ambientale e quelle degli utenti.

Bibliografia

Bará S., Falchi F., Lima R. C., Pawley M., *Can we illuminate our cities and (still) see the stars?*, International Journal of Sustainable Lighting, 2021

Bennie J. et al., *Ecological effects of artificial light at night on wild plants*, British Ecological Society, 2016

Blondel B., Mispelon C., Ferguson J., *Cycle more often 2 Cool down the planet ! Quantifying Co2 savings of cycling*, European Cyclists' federation, Brussels, 2011

Bozzuto P., Fabian L., *Per una possibile "urbanistica della bicicletta"*, in TERRITORIO, 2014

Brelsford C. C., Robson T. M., *Blue light advances bud burst in branches of three deciduous tree species under short-day conditions*, SpringerLink, 2018

Buczyński A., Gregoire F., Lancaster E., *European Certification Standard, Quality criteria for long-distance cycle routes*, European Cyclists' Federation, 2021

Cao D., *Color vision and night vision*, in Schachat A. P. et al. (a cura di), Ryan's RETINA, ELSEVIER, 2018

Cinzano P., *La valutazione dell'impatto ambientale dell'inquinamento luminoso*, relazione presentata al Convegno Nazionale Immissioni ed Emissioni, Milano, 14 Dicembre 2004

Città di Torino, *Piano della mobilità ciclabile (BICIPLAN)*, 2013

Città di Torino, *Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale*, 2011

Città metropolitana di Torino, *PUMS. Piano Urbano della Mobilità Sostenibile*, 2022

Commissione europea, *Il nuovo quadro dell'UE per la mobilità urbana*, Strasburgo, 2021

Commissione europea, *Il Green Deal europeo*, Bruxelles, 2019

Commissione europea, *Strategia per una mobilità sostenibile e intelligente: mettere i trasporti europei sulla buona strada per il futuro*, Bruxelles, 2020

Dugar A. M., *Biodynamic Lighting: Establishing Foundational Considerations for 'Life Centric' Lighting*, 2023

Durmus D., Jägerbrand A. K., Tengelin M. N., *Research note: Red light to mitigate light pollution: Is it possible to balance functionality and ecological impact?*, Lighting Res. Technol, 2024

European Cyclists' Federation, *EuroVelo Route Development Status*

Report, 2023

European Cyclists' Federation, *EuroVelo Usage Monitoring Report*, 2023

European Cyclists' Federation, *European Certification Standard*, 2021

Fonazione Manlio Masi, *Mobilità ciclabile e infrastrutture: prospettive e vantaggi*, Bikeconomy osservatorio, 2018

Forcolini G., *Illuminazione di esterni*, HOEPLI, Milano, 1993

Forcolini G., *Lighting. Lampade, apparecchi, impianti. Progettazione per ambienti interni ed esterni*, HOEPLI, Milano, 2008

Fotios S., Monteiro A.L., Uttley J., *Evaluation of pedestrian reassurance gained by higher illuminances in residential streets using the day-dark approach*, Lighting Research & Technology, 2019

Frascarolo M., *Manuale di progettazione. Illuminotecnica.*, Mancosu Editore, Roma, 2010

Gaston K. J., Davies T. W., Bennie J., Hopkins J., *Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments*, Journal of applied ecology, 2012

Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, *Dichiarazione europea sulla mobilità ciclistica*, 2024

Government of British Columbia, *British Columbia Active Transportation Design Guide. H. Amenities + Integration*, 2024

Harms L., Kansen M., *Cycling Facts. Netherlands Institute for Transport Policy Analysis, Ministry of Infrastructure and Water Management*, 2018

Heim O., Chavez F., Courtiol A., Paul F., Voigt C. C., *Guild-specific response of bats to motion-triggered LED lighting of bicycle trails*, Conservation Science and Practice, 2023

ISPRA, *L'illuminazione nelle aree urbane*, Santorico D. (a cura di), Roma, 2011

Jägerbrand A. K., Bouroussis C. A., *Ecological Impact of Artificial Light at Night: Effective Strategies and Measures to Deal with Protected Species and Habitats*, in Sustainability, 2021

Jägerbrand A. K., Spoelstra K., *Effects of anthropogenic light on species and ecosystems*, in Science, 2023

Junta de Andalucía, *Spectral G index*, 2019

Katabaro J.M. et al., *A review of the effect of artificial light at night in urban areas on the ecosystem level and the remedial measures*, Front. Public Health, 2022

Küster F., Schusta B., *The state of national cycling strategies in Europe*,

European Cyclists' Federation, 2024

Küster F., Watson M., *Cycling Underrepresented in EU Member States' Final National Energy and Climate Plans*, European Cyclists' federation, 2020

LEGAMBIENTE, in collaborazione con Velo Love e GRAB+, *L'A Bi Ci. 1° rapporto sull'economia della bici in Italia e sulla ciclabilità nelle città*, 2017

Logan G. et al., *Benefits, risks, barriers, and facilitators to cycling: a narrative review*, Sports and Active Living, 2023

Luginbuhl C. B., Boley P. A., Davis D. R., *The impact of light source spectral power distribution on sky glow*, in Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2013

Masseti L., *Assessing the impact of street lighting on Platanus x acerifolia phenology*, in Urban Forestry & Urban Greening, 2018

Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, *Piano Generale della Mobilità Ciclistica urbana e extraurbana*, 2022

Narboni R., *Luce e paesaggi. Creare paesaggi notturni*, Palladino P. (a cura di), Tecniche nuove, Milano, 2006

National Transport Authority, *Cycle Design Manual*, Irlanda, 2023

Ouzounis T., Rosenqvist E., Ottosen C., *Spectral Effects of Artificial Light on Plant Physiology and Secondary Metabolism: A Review*, in HortScience, 2015

Papalambrou A., Xanthakis M., Doulos L. T., *Aenos International Dark-Sky Park: The first officially designated area protected from light pollution in Greece*, E3S Web of Conferences, 2023

Peña-García A., Hurtado A., Aguilar-Luzón M. C., *Impact of public lighting on pedestrians' perception of safety and well-being*, in Safety Science, ELSEVIER, 2015

Pereira Segadilha A. B., da Penha Sanches S., *Identification of factors that influence cyclists' route choice*, Procedia - Social and Behavioral Science, ELSEVIER, 2014

Rajkhowa R., *Light Pollution and Impact of Light Pollution*, International Journal of Science and Research, 2014

Regione Piemonte, *Linee guida progettuali. Allegato A al Piano Regionale della Mobilità Ciclistica*, 2023

Regione Piemonte, *Piano Regionale della Mobilità Ciclistica*, 2023

Report Ipsos, *Cycling across the world. A 30-country Global Advisor survey*, 2022

Shrimplin V., *Dark Skies and Light Pollution: An Art-Historical Approach*, ResearchGate, 2023

Tabaka P., Kołomanski S., *Influence of replacing discharge lamps with LED sources in outdoor lighting installations on astronomical observations*, BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES TECHNICAL SCIENCES, 2023

Uttley J., Fotios S., Lovelace R., *Road lighting density and brightness linked with increased cycling rates after-dark*, PLoS One, 2020

Uttley J., Fotios S., Robbins C. J., Moscoso C., *The effect of changes in light level on the numbers of cyclists*, in Lighting Research & Technology, 2023

Vidal-Tortosa E., Lovelace R., *Road lighting and cycling: A review of the academic literature and policy guidelines*, in Journal of Cycling and Micro mobility Research, ELSEVIER, 2024

Villa C., Bremond R., Saint-Jacques E., *Assessment of pedestrian discomfort glare from urban LED lighting*, in Lighting Research & Technology, 2016

Vissio, C., Drewniak, E.M., Cocucci, A.A. et al., *Artificial light changes visual perception by pollinators in a hawkmoth-plant interaction system*, SpringerLink, 2024

RIFERIMENTI NORMATIVI

Criteri minimi ambientali (CAM) per "l'acquisizione di SORGENTI LUMINOSE PER L'ILLUMINAZIONE PUBBLICA, l'acquisizione di APPARECCHI PER ILLUMINAZIONE PUBBLICA, l'affidamento del servizio di PROGETTAZIONE DI IMPIANTI PER ILLUMINAZIONE PUBBLICA", 2017

Criteri minimi ambientali (CAM) per il "Servizio di illuminazione pubblica", 2018

Legge regionale 9 febbraio 2018, n. 3, Modifiche alla legge regionale 24 marzo 2000, n. 31 (Disposizioni per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche), 2018

Technical Report CIE 150-2017, "Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations", 2° edition, 2017

UNI 10819:2021, "Luce e illuminazione – Impianti di illuminazione esterna – grandezze illuminotecniche e procedure di calcolo per la valutazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso"

UNI 11248, "Illuminazione stradale-Selezione delle categorie illuminotecniche", 2016

UNIEN 13201-2, "Illuminazione stradale – Parte 2: Requisiti prestazionali",

2016

UNI EN 13201-3, "Illuminazione stradale – Parte 3: Calcolo delle prestazioni", 2016

UNI EN 13201-4, "Illuminazione stradale – Parte 4: Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche", 2016

UNI EN 13201-5, "Illuminazione stradale – Parte 5: Indicatori delle prestazioni energetiche", 2016

TESI DI LAUREA

Floris Francesca, *La percezione notturna del paesaggio culturale. Effetti generati dalla riconversione degli impianti di illuminazione a Montepescali e Batignano*, Tesi di laurea, Torino, 2019

Crisumma Alice, *Approccio metodologico al progetto della luce dei centri storici: il caso studio di Mesagne*, Tesi di Laurea, Torino, 2021

Sitografia

Apply to be DarkSky Approved: <https://darksky.org/what-we-do/darksky-approved/application/> (ultima consultazione 17/01/25)

Bicitalia, Il progetto: <https://www.bicitalia.org/it/bicitalia/il-progetto> (ultima consultazione 09/01/25)

Cariboni group, Eco Centric Lighting, 2023: <https://view.publitas.com/cariboni-group/eco-centric-lighting-it-en-2023/page/12-13> (ultima consultazione 07/10/24)

Declaration in defence of the night sky and the right to starlight, 2007: https://fundacionstarlight.org/docs/files/33_english-declaration-in-defense-of-the-quality-of-the-night-sky-and-the-right-to-starlight.pdf (ultima consultazione 05/09/24)

EuroVelo 12, North Sea Cycle Route: <https://en.eurovelo.com/ev12> (ultima consultazione 05/09/24)

FIAB, Bicitalia. 20 ciclovie per 20 regioni, 2019: <https://www.slideshare.net/slideshow/bicitalia-20-ciclovie-per-20-regioni/127688334#4> (ultima consultazione 05/09/24)

Government of the Netherlands, "Ways of encouraging bicycle use": <https://www.government.nl/topics/bicycles/bicycle-policy-in-the-netherlands> (ultima consultazione 11/12/24)

L'UE adotta la Dichiarazione Europea sulla ciclabilità: <https://fiabitalia.it/lue-adotta-la-dichiarazione-europea-sulla-ciclabilita/> (ultima consultazione 21/12/24)

La mobilità ciclistica a Torino: <https://www.muoversiatorino.it/it/mobilita-ciclistica/> (ultima consultazione 21/09/24)

Low Impact Standard: <https://www.licht-und-natur.eu/lpec-in-eeb/standards-of-low-impact-lighting/> (ultima consultazione 12/10/24)

Risoluzione del Parlamento europeo del 16 febbraio 2023 sull'elaborazione di una strategia dell'UE per la mobilità ciclabile, https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-20230058_IT.html (ultima consultazione 09/01/25)

ROLAN Manifesto for lighting professionals: <https://darksky.org/news/responsible-outdoor-lighting-at-night-rolan-manifesto-for-lighting/> (ultima consultazione 12/10/24)

Special Eurobarometer 495: Mobility and transport, Volume A, 2020: https://data.europa.eu/data/datasets/s2226_92_1_495_eng?locale=en (ultima consultazione 09/01/25)

APPLICAZIONI PROGETTUALI

Pista ciclabile di Lezíria: <https://it.schreder.com/it/progetti/grid-solar-lighting-protects-nature-castro-marim> (ultima consultazione 19/01/25)

Riquilificazione di Rua da Pêga: <https://it.schreder.com/it/progetti/gli-apparecchi-yoa-garantiscono-percorso-sicuro-una-strada-con-molteplici-utenti> (ultima consultazione 19/01/25)

Percorsi verso Driebergen-Zeist: <https://it.schreder.com/it/progetti/l-illuminazione-sostenibile-garantisce-sicurezza-persone-e-natura-driebergen-zeist> (ultima consultazione 19/01/25)

Pista ciclabile a Münster: <https://tvilight.com/it/caso-di-studio/l%27illuminazione-adattiva-migliora-l%27esperienza-ciclistica-a-Munster/> (ultima consultazione 19/01/25)

Nallibaana Route: <https://www.caribonigroup.com/it/progetti/nallibaana-route-oulu-finlandia> (ultima consultazione 19/01/25)

Gladesaxe municipality: <https://lightbureau.com/projects/gladsaxe-municipality/> (ultima consultazione 19/08/24)

Mandel bike path: <https://www.schreder.com/en/projects/sustainable-self-supporting-lighting-mandel-bike-path> (ultima consultazione 19/08/24)

Percorsi naturalistici di Påljö Skog: <https://ch.schreder.com/it/progetti/bat-friendly-lighting-protects-rare-species-palsjo-skog-forest> (ultima consultazione 19/08/24)

Esperimento a Southampton Common: <http://southamptoncommonforum.org/bats.html> (ultima consultazione 16/08/24)

Corridoio notturno a Lille: <https://ch.schreder.com/it/progetti/smart-lighting-lille-nocturnal-corridor-protects-people-and-wildlife> (ultima consultazione 16/08/24)

Dodder Greenway: <https://ch.schreder.com/it/progetti/smart-lighting-promotes-active-mobility-protects-nature> (ultima consultazione 21/08/24)

Parco di Sybiraków: <https://ch.schreder.com/it/progetti/parco-sybirakow-illuminazione-intelligente-aiuta-creare-polmone-verde> (ultima consultazione 21/08/24)

Parco di Terhills: <https://ch.schreder.com/fr/projets/eclairage-led-ambre-schreder-au-terhills-center-parcs-respect-de-environnement-et-securite> (ultima consultazione 21/08/24)

Pista ciclabile RAVeL: <https://ch.schreder.com/it/progetti/le-soluzioni-di-illuminazione-intelligente-incrementano-il-trasporto-sostenibile> (ultima consultazione 25/08/24)

Percorso lungo Lago Carona: <https://www.caribonigroup.com/it/progetti/lago-di-carona> (ultima consultazione 25/08/24)

Un ringraziamento speciale alla prof.ssa Anna Pellegrino, per avermi guidato nella scoperta e nell'esplorazione del tema della luce durante la carriera universitaria.

A Lodovica Valetti e Rossella Taraglio, per il costante supporto, la disponibilità e il tempo che mi hanno dedicato.

Ai miei genitori, per avermi sempre sostenuto ed essermi stati accanto, nonostante la distanza che ci ha separato.

Ad Alessia, amica preziosa, per aver condiviso ogni momento, dentro e fuori l'università, con sostegno e complicità.