

Inquinamento Luminoso in Veneto

Relazione al Consiglio Regionale



2024

Progetto e realizzazione

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

Osservatorio Permanente sul fenomeno dell’Inquinamento Luminoso

Presidente: Loris Tomiato - Direttore Generale Arpav

Andrea Bertolo

Sergio Ortolani

Pietro Fiorentin

Luca Zaggia

Diego Lonardoni

Giampaolo Fusato

Elena Gambato

Renata Binotto

Daniele Suman

Hanno collaborato:

Stefano Ciroi - Università di Padova

Marco Fiaschi – MFC Elettronica

Associazione Regionale Veneto Stellato

Parchi Regionali del Veneto

È consentita la riproduzione di testi, tabelle, grafici ed in genere del contenuto del presente rapporto esclusivamente con la citazione della fonte.

Settembre 2024

SOMMARIO

ABSTRACT	4
1 INTRODUZIONE	5
1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI	5
1.2 OSSERVATORIO PERMANENTE SUL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO	5
1.3 IMPATTO AMBIENTALE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO	6
1.3.1 <i>Generalità</i>	7
1.3.2 <i>Inquinamento Luminoso e Osservazioni Astronomiche</i>	8
1.3.3 <i>Considerazioni</i>	9
2 LA SITUAZIONE ATTUALE.....	10
2.1 RISULTATI DEL QUESTIONARIO RIVOLTO AI COMUNI DELLA REGIONE VENETO.....	10
2.1.1 <i>Risposte ottenute</i>	10
2.1.2 <i>Risultati</i>	12
2.1.2.1 <i>Analisi per classi demografiche di abitanti</i>	16
2.1.2.2 <i>Stato di applicazione della normativa regionale</i>	19
2.1.2.3 <i>Altri risultati: numero sorgenti a LED sul totale</i>	21
2.1.2.4 <i>Altri risultati: stima numerosità regionale impianti sportivi dotati di illuminazione esterna</i>	21
2.1.3 <i>Considerazioni</i>	21
2.2 LA BRILLANZA DEL CIELO RILEVATA DALLE CENTRALINE DI MONITORAGGIO	22
2.2.1 <i>Strumentazione e Campionamento</i>	23
2.2.2 <i>Calibrazione delle misurazioni</i>	23
2.2.3 <i>Risultati</i>	24
2.3 LA BRILLANZA DEL CIELO RILEVATA CON ALTRE TECNICHE AVANZATE	28
2.4 LO STUDIO DEL "COLORE" DELLE SORGENTI E DEL CIELO NOTTURNO	28
2.5 LA RADIANZA EMessa DAGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE RILEVATA DA SATELLITE.....	32
3 LE ATTIVITA' DI ARPAV SUL TEMA INQUINAMENTO LUMINOSO	34
3.1 I CONTROLLI SUL TERRITORIO	34
3.2 TECNOLOGIE INNOVATIVE UTILIZZATE NEL CONTROLLO DEGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE	35
3.2.1 <i>Misurazioni specialistiche con utilizzo di camera di luminanza</i>	35
3.2.1.1 <i>Controllo illuminotecnico nuova illuminazione esterna della Specola a Padova</i>	36
3.2.1.2 <i>Controllo illuminotecnico impianto pubblicitario LEDWALL a Padova</i>	37
3.2.2 <i>L'utilizzo di DRONI per monitoraggi e valutazioni quantitative</i>	38
3.3 LE ISTRUTTORIE PREVENTIVE SUI PROGETTI ILLUMINOTECNICI E SUI PICIL	41
4 LE INIZIATIVE E GLI STUDI DELL'OSSERVATORIO PERMANENTE.....	43
4.1 STUDIO SU INQUINAMENTO LUMINOSO E CORONAVIRUS.....	43
4.2 LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DI SORGENTI DI LUCE ARTIFICIALE.....	45
4.3 LINEE GUIDA PER IL RISPARMIO ENERGETICO NELLA PUBBLICA ILLUMINAZIONE	46
4.4 LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE ILLUMINOTECNICA DI STAZIONI E SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE.....	47
4.5 PROGETTO SKYSCAPE	48
4.6 IL CONTRIBUTO DELL'ASSOCIAZIONE VENETOSTELLATO	49
4.7 IL CONTRIBUTO DEGLI ENTI GESTORI DELLE AREE NATURALI PROTETTE	49
5 LA LEGGE REGIONALE 17/09 A 15 ANNI DALL'EMANAZIONE.....	50
6 CONCLUSIONI.....	51
7 BIBLIOGRAFIA	52

ABSTRACT

La relazione fornisce un quadro aggiornato sull'inquinamento luminoso e gli impianti di illuminazione in Veneto. L'inquinamento luminoso, causato dalla luce artificiale emessa e riflessa verso l'alto, non implica solamente la perdita di visibilità del cielo notturno, ma ha significativi impatti ambientali, che includono danni alla biosfera, alla flora ed alla fauna, interferenze con le osservazioni astronomiche e possibili effetti sulla salute umana, attraverso l'alterazione dei ritmi circadiani causati in particolare della componente blu dello spettro luminoso.

Vengono evidenziati i risultati ottenuti in Veneto grazie all'applicazione della legislazione regionale, le attività di ARPAV e dell'Osservatorio Permanente sull'Inquinamento Luminoso, l'adozione di nuove tecnologie di monitoraggio e controllo, quali l'utilizzo dei droni, e l'emanazione di specifiche linee guida per i progettisti e gli amministratori locali.

Un'analisi dettagliata della situazione attuale è fornita attraverso i risultati di questionari rivolti ai Comuni del Veneto: i risultati indicano un aumento dei punti luce ma anche una riduzione dei consumi energetici grazie all'adozione di nuove tecnologie.

Il documento illustra le differenti e avanzate tecniche di monitoraggio della brillantezza del cielo, inclusa la rete delle centraline di brillantezza ubicate in tutto il territorio regionale, i rilevamenti satellitari e l'uso di droni.

Viene inoltre dettagliata l'attività di ARPAV, sia in termini di controlli sul territorio che di istruttorie preventive sulla progettazione dei nuovi impianti di illuminazione.

La Regione Veneto, grazie all'azione congiunta di ARPAV, dell'Osservatorio Permanente sull'Inquinamento Luminoso e delle Associazioni di tutela del cielo, è riuscita a migliorare significativamente la gestione dell'illuminazione pubblica e a contenere l'inquinamento luminoso, anche se rimangono molte sfide aperte riguardanti gli impatti ambientali e sulla salute umana, che necessitano di studi ulteriori e interventi mirati.

La relazione sottolinea infine l'importanza di continuare sulla strada intrapresa, utilizzando tecnologie innovative, rafforzando le pratiche di monitoraggio e controllo, la formazione degli operatori del settore e la fondamentale sensibilizzazione culturale.

1 INTRODUZIONE

La Regione Veneto fin dal lontano anno 1997 ha avviato una riflessione ed un controllo sull'inquinamento luminoso prodotto dalla luce emessa dagli impianti di illuminazione esterna, concretizzatosi nella prima Legge Regionale in materia, che già prefigurava la centralità del tema anche a riguardo del risparmio energetico conseguibile.

Ma è soprattutto a partire dall'anno 2009, con la nuova Legge Regionale n. 17/09, che l'azione sulla tematica è diventata maggiormente incisiva, grazie ad uno strumento legislativo puntuale e ad una nuova sensibilità degli attori in campo, in primis Regione ed ARPAV.

L'istituzione presso la Direzione Generale di ARPAV dell'Osservatorio permanente sul fenomeno dell'inquinamento luminoso (nel seguito semplicemente Osservatorio), il ruolo dell'Agenzia nel supportare i Comuni nei controlli e nelle istruttorie, il contributo delle associazioni di tutela del cielo, la nuova sensibilità dei Comuni, derivante in primis da aspetti economici e di risparmio energetico, la collaborazione e la formazione svolta a favore delle altre Agenzie e la sollecitazione sulla tematica verso il SNPA (sistema nazionale protezione ambiente), l'utilizzo di strumenti di indagine innovativi (ad esempio dati satellitari e rilievi con l'utilizzo di droni) pongono da almeno un decennio il Veneto come capofila in Italia per le azioni sul territorio, la formazione professionale e la sensibilizzazione culturale, e la ricerca scientifica.

La relazione, che risponde ad una precisa richiesta di legge, e che rappresenta la seconda edizione dopo quella del 2015, illustra ad oggi la situazione dell'inquinamento luminoso e degli impianti di illuminazione nella Regione Veneto, dettaglia i risparmi energetici conseguiti, ed illustra nel contempo le numerose attività, indagini, iniziative svolte da Osservatorio ed ARPAV, delineando inoltre alcuni scenari futuri che possano portare a ottimizzare le risorse disponibili e razionalizzare gli interventi sull'illuminazione, al fine di illuminare meglio e nel contempo non privarsi di quel "rimirar le stelle" che costituisce un aspetto culturale, ambientale e scientifico irrinunciabile.

1.1 Riferimenti Normativi

In Veneto la legge che regola l'argomento dell'inquinamento luminoso è la seguente:

LEGGE REGIONALE 7 agosto 2009, n. 17: Nuove norme per il contenimento dell'inquinamento luminoso, il risparmio energetico nell'illuminazione per esterni e per la tutela dell'ambiente e dell'attività svolta dagli osservatori astronomici.

1.2 Osservatorio Permanente sul Fenomeno dell'Inquinamento Luminoso

La Legge Regionale n. 17/09 istituisce presso ARPAV l'Osservatorio permanente sul fenomeno dell'inquinamento luminoso.

Art. 6: Osservatorio permanente sul fenomeno dell'inquinamento luminoso

1. È istituito, presso la direzione generale dell'Agenzia regionale per la prevenzione e protezione ambientale del Veneto (ARPAV), di cui alla legge regionale 18 ottobre 1996, n. 32, l'Osservatorio permanente sul fenomeno dell'inquinamento luminoso, di seguito indicato come "Osservatorio".

2. Spetta all'Osservatorio:

- a) la segnalazione ai comuni ed alle province dei siti e delle sorgenti luminose, pubbliche e private, di grande inquinamento luminoso che richiedono interventi di bonifica;
- b) l'elaborazione di atti di indirizzo e documenti d'informazione per la predisposizione dei PICIL di cui all'articolo 5, comma 1, lettera a);
- c) l'assunzione delle segnalazioni relative a violazioni, sul territorio regionale, delle disposizioni della presente legge;
- d) l'acquisizione dei dati relativi all'attuazione della presente legge da parte dei soggetti competenti, al fine di favorire l'assunzione di informazioni in materia di riduzione dell'inquinamento luminoso e dei consumi energetici;
- e) la predisposizione di una relazione biennale al Consiglio regionale sul fenomeno dell'inquinamento luminoso nella Regione Veneto e sullo stato d'attuazione della presente legge, in cui si rende conto dell'andamento del fenomeno dell'inquinamento luminoso nel territorio regionale e del risparmio energetico conseguito.

3. L'Osservatorio è composto dai seguenti membri:

- a) il direttore generale dell'ARPAV, con funzioni di presidente;
- b) un rappresentante designato dalle associazioni di cui all'articolo 3, comma 1, lettera d);
- c) un rappresentante designato dagli osservatori di cui all'articolo 8;
- d) un rappresentante designato congiuntamente dagli enti gestori delle aree naturali protette regionali istituite nel territorio della Regione Veneto;
- e) un esperto in materia di inquinamento luminoso designato dal presidente dell'Osservatorio, sentite le associazioni di cui all'articolo 3, comma 1, lettera d).

4. I componenti dell'Osservatorio sono nominati dalla Giunta regionale e durano in carica per la durata della legislatura.

5. Ai componenti dell'Osservatorio spetta il rimborso delle spese sostenute nello svolgimento dell'incarico, secondo le disposizioni vigenti in materia di rimborso spese.

1.3 Impatto Ambientale dell'Inquinamento Luminoso

L'illuminazione del cielo notturno ad opera di sorgenti artificiali è una forma di inquinamento ambientale relativamente recente, poco conosciuta e solo da qualche decennio oggetto di studi approfonditi che ne hanno riconosciuto scientificamente i danni ambientali.

1.3.1 Generalità

Le sorgenti artificiali possono illuminare il cielo con luce diretta, se non sono completamente schermate, con emissione limitata al di sotto del piano orizzontale, o per diffusione sia singola che multipla. La propagazione con la distanza dipende da diversi fattori, alcuni locali, come l'altezza del corpo illuminante, la presenza di ostacoli e la natura del terreno, altri di carattere atmosferico, come la capacità di diffusione dell'atmosfera dovuta alla presenza di aerosol.

Se da una parte l'illuminazione notturna è richiesta per prolungare le attività diurne o per sicurezza, dall'altra l'aumento della luminosità del cielo notturno che ne consegue provoca alterazioni alla biosfera, incluso l'organismo umano. Limita inoltre la possibilità di osservazione ed esplorazione dell'universo.

I danni alla biosfera includono la vegetazione, gli insetti e gli organismi superiori, con effetti non sempre indipendenti, in quanto, per esempio, danni agli insetti impollinatori si ripercuotono sullo sviluppo delle piante. A loro volta gli esseri superiori che si nutrono di insetti possono avere la vita alterata per carenza o ridistribuzione degli insetti stessi. L'esposizione degli alberi a luce intensa porta ad indebolimento delle piante a foglie caduche perché prolunga oltre i cicli naturali la loro attività. Per quanto riguarda gli insetti notturni, l'effetto più appariscente è la loro drastica diminuzione nel corso degli ultimi decenni, che diversi autori attribuiscono anche alle sorgenti luminose artificiali.

Da questo punto di vista, la sostituzione delle lampade più inquinanti, con emissioni ad angoli superiori al piano orizzontale, con quelle cutoff, rivolte solo verso il basso, è prevista dalla legislazione corrente, e risulta molto efficace, soprattutto se accompagnata da riduzione dei flussi.

Molto meno visibili, ma rilevanti, sono i danni alla biosfera acquifera. L'illuminazione dei ponti agisce come una vera e propria barriera per alcune specie di pesci. Ci sono inoltre alterazioni sulle attività predatorie, mentre sono in corso studi sugli effetti sul plancton marino.

Effetti sull'uomo vengono anche riportati a seguito della rapida soppressione serale della melatonina, con disturbi del sonno e disfunzioni legate a squilibri ormonali. Studi effettuati in Canada, Spagna, Israele, e recentemente anche da biologi e medici a Padova, hanno dimostrato una relazione tra inquinamento luminoso e l'insorgenza di alcune patologie tumorali.

In generale la parte blu dello spettro dei corpi luminosi (per esempio il picco blu dei led con alta temperatura di colore) è quella che provoca gli effetti più nocivi sia all'uomo che alla biosfera, adattata ad una luce naturale al tramonto che invece tende al colore rosso. Pertanto è raccomandabile l'adozione di lampade a bassa temperatura di colore, che presentano una ridotta componente blu.

Altri effetti legati alla riduzione, se non soppressione, della periodicità della luce lunare, e la riduzione di visibilità degli astri, sulla biosfera, sono segnalati in letteratura, ma ancora non studiati in dettaglio.

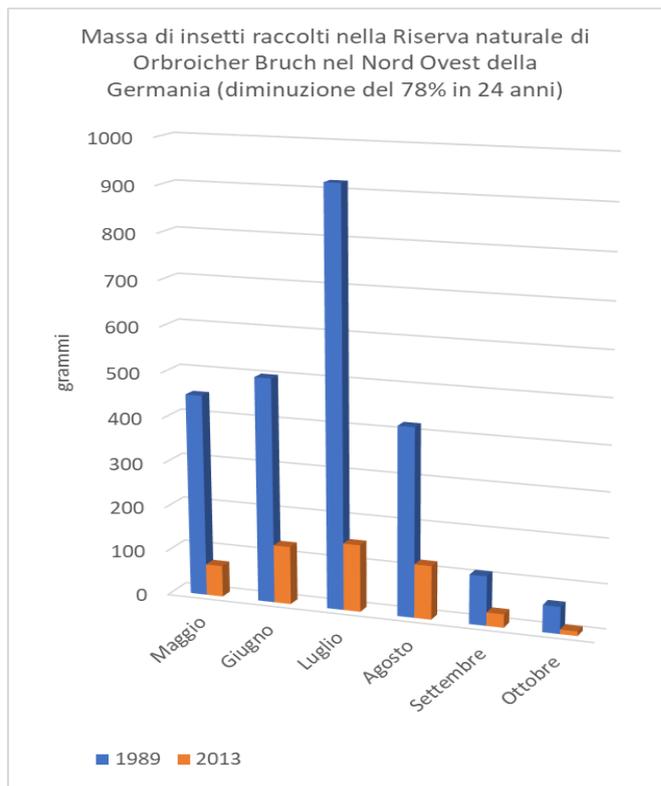


Figura 01: Rielaborazione da Vogel, G., Science, vol. 356, p. 576, 2017

1.3.2 Inquinamento Luminoso e Osservazioni Astronomiche

L'effetto più immediato ed evidente dell'inquinamento luminoso notturno è quello legato alle osservazioni astronomiche, sia da parte del comune cittadino, ad occhio nudo, o con piccoli strumenti, sia in ambito professionale. A questo proposito si ricorda che il Veneto ospita, sull'Altopiano di Asiago, a Cima Ekar, il maggior telescopio operante sul territorio nazionale, e uno dei maggiori in Europa, con 182 cm di apertura, oltre ad altri due telescopi professionali utilizzati correntemente per ricerca scientifica, equipaggiati con strumentazione e rivelatori di avanguardia.

La situazione corrente mostra che la luminosità del cielo notturno verso lo zenit (la direzione della verticale) si attesta attorno ad un valore corrispondente a circa 3 volte la luminosità del cielo naturale. Il cielo naturale, privo di inquinamento luminoso si osservava, dalla stessa sede, fino alla fine degli anni 60 del secolo scorso.

L'inquinamento luminoso all'Osservatorio di Asiago dipende, in misura confrontabile, dall'inquinamento dovuto alle lampade dell'altopiano e da quelle della pianura, anche da distanza rilevante. A sua volta contribuiscono in parti confrontabili le luci di illuminazione pubbliche e private.



Figura 02: Inquinamento luminoso all'osservatorio dell'Ekar, Asiago (VI)

Il primo risultato dell'inquinamento luminoso sulle osservazioni astronomiche è la perdita di osservabilità delle sorgenti più deboli, cioè, statisticamente, delle più lontane, con la conseguenza che diminuisce sempre più la distanza osservabile. Dagli anni 60 ad oggi, a parità di efficienza dei mezzi di osservazione e di sorgenti, si è perso oltre il 50% in distanza. Un altro effetto è che la luminosità del cielo dovuta all'inquinamento luminoso cresce molto più rapidamente verso l'orizzonte che allo zenit, le osservazioni sono quindi sempre più limitate nel cielo attorno allo zenit (vedasi fig. 02 a lato, inquinamento luminoso all'osservatorio dell'Ekar, Asiago (VI)).

L'inquinamento luminoso si ripercuote anche sulle osservazioni di oggetti relativamente brillanti, con perdita di contrasto e peggioramento del rapporto segnale/rumore. Un discorso a parte, e più complesso, vale per gli studi degli spettri degli astri dove agisce in modo diverso la contaminazione di lampade che emettono uno spettro continuo, come i led, e quello con spettro a righe, come quelle del sodio. In entrambi i casi gli spettri risultano degradati, tanto più quanto più deboli sono le sorgenti celesti.

Simili considerazioni valgono anche per le osservazioni ad occhio nudo, o con piccoli strumenti, da parte di amatori e comuni cittadini. La perdita di visibilità di fenomeni a grande scala, prima della luce zodiacale, ormai quasi invisibile in Italia, e poi della Via Lattea, è l'effetto più facilmente constatabile dell'inquinamento luminoso.

L'osservazione senza strumentazione ottica dell'arco della Via Lattea, testimonianza della nostra appartenenza alla Galassia, considerato dall'Unesco patrimonio dell'umanità (fig. 03, la Via Lattea dal Paranal - Cile), in Veneto è ormai una rarità tra la popolazione. Questo perché in ambienti inquinati dall'illuminazione artificiale sono visibili ad occhio nudo solo poche stelle brillanti e perdiamo la visione in profondità della Galassia.

Stesso discorso vale per l'osservazione delle comete e di fenomeni come le aurore che sono invece frequenti nelle testimonianze storiche, anche da Padova, nei secoli scorsi.

Anche le comete risultano in dipinti storici (vedasi fig. 04) che le riportano come osservate dai centri cittadini, ma oggi la loro osservazione ad occhio nudo è un'assoluta rarità.



Figura 03: la Via Lattea dal Paranal - Cile

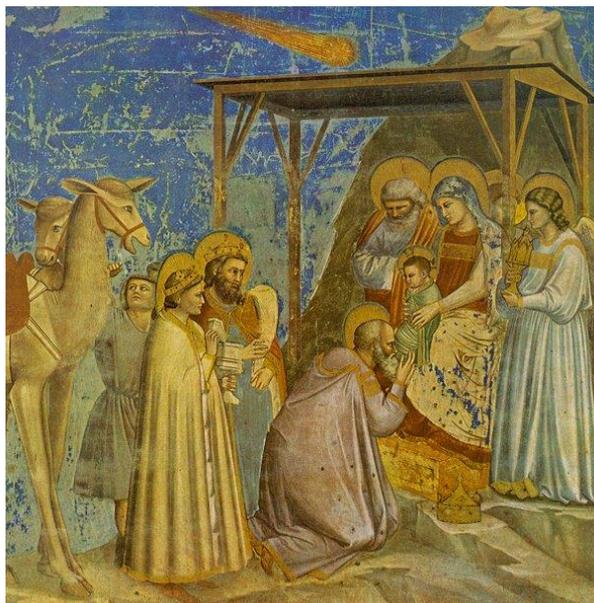


Figura 04: Rappresentazione di una cometa in un dipinto di Giotto
(tratta da <https://www.chimica-online.it/astronomia/cometa-dipinta-da-giotto.htm>)

1.3.3 Considerazioni

Il risultato dell'attuale inquinamento luminoso è che alla maggior parte dei cittadini del Veneto le osservazioni dei fenomeni astronomici più interessanti sono precluse, a meno di non spostarsi in località specifiche, difficilmente accessibili e note solo a pochi amatori.

Si vuole però sottolineare che l'inquinamento luminoso si propaga a grande distanza, anche a centinaia di chilometri, soprattutto ad opera dei "grandi inquinatori" (in particolare a causa delle luci dirette) analogamente ad altre forme di inquinamento ambientale.

Creare quindi delle ristrette aree di protezione risolve solo in parte il problema che deve invece essere affrontato nell'intero territorio attraverso il monitoraggio, pianificazione, controllo ed eventuali modifiche agli impianti. Tutto questo va a vantaggio dell'intera popolazione e della biosfera, come precedentemente illustrato.

2 LA SITUAZIONE ATTUALE

La situazione odierna nel Veneto per quanto concerne l'inquinamento luminoso viene illustrata nei successivi paragrafi, con l'utilizzo di differenti indicatori che si basano sulle migliori tecniche oggi disponibili per quantificare sia le fonti di inquinamento luminoso sia il loro impatto sul cielo: l'analisi delle risposte dei Comuni del Veneto ai questionari proposti da ARPAV a cadenze regolari e riferiti in particolare all'anno 2016 e 2021, l'analisi dei dati di monitoraggio della brillantezza del cielo notturno ottenuti dalle numerose centraline di monitoraggio presenti sul territorio regionale, i dati complessivi derivati dalle immagini satellitari, e infine alcuni dati ricavati dal recente studio intrapreso con l'utilizzo di uno specifico spettrometro installato presso la sede ARPAV di Padova.

2.1 Risultati del Questionario rivolto ai Comuni della Regione Veneto

La promulgazione della Legge Regionale n. 17 nell'anno 2009 ha costituito sicuramente uno spartiacque per quanto riguarda la gestione della tematica dell'illuminazione esterna, pubblica e privata, nel Veneto, obbligando i Comuni ad una valutazione del proprio parco impiantistico a riguardo della pubblica illuminazione esterna ed alla ricognizione dei consumi elettrici per illuminazione, dati spesso non ben conosciuti o a disposizione. Il dettato legislativo in particolare ha richiesto ai Comuni di rilevare il consumo di energia elettrica per illuminazione esterna notturna pubblica nel territorio di competenza (art. 5, comma 4).

Al fine di stimolare i Comuni ad una corretta ricognizione del numero dei punti luce presenti ed in special modo dei consumi spesso conosciuti in modo assai impreciso e lacunoso, ed allo scopo di avere una base dati di partenza per monitorare nel tempo l'andamento di tali parametri, l'Agenzia ha proposto già nell'anno 2010 un primo questionario per tutti i Comuni del Veneto, in cui i due dati fondamentali richiesti erano proprio i consumi energetici comunali ed il numero di punti luce presenti, assieme ad una serie di quesiti volti ad approfondire il grado di conoscenza e di applicazione delle Legge Regionale.

Al fine di quantificare lo stato di avanzamento nel tempo, l'azione dell'Agenzia nel campo dell'informazione/formazione, l'impatto della Legge Regionale e delle politiche di sostegno economico da parte della Regione, il questionario, con alcune semplificazioni derivanti dalla pregressa esperienza, è stato ripetuto nel corso dell'anno 2014 con riferimento ai dati dell'anno 2013, e poi con riferimento ai dati 2016 e 2021.

I dati oggetto dei questionari costituiscono "informazioni ambientali" ai sensi del D.lgs. n. 195 del 2005, art. 2.

2.1.1 Risposte ottenute

La numerosità dei Comuni rispondenti è riportata in tabella 01

Provincia	N° Comuni presenti		Risposte	
	2016	2021	2016	2021
Belluno	64	61	77 %	56 %
Padova	104	102	79 %	56 %
Rovigo	50	50	82 %	52 %
Treviso	95	94	82 %	71 %
Vicenza	121	114	82 %	60 %
Verona	98	98	88 %	61 %
Venezia	44	44	80 %	70 %
TOTALE COMUNI	576	563	82 %	61 %
TOTALE POPOLAZIONE	4.907.529	4.854.633	88 %	78 %

Tabella 01: Risposte ai questionari ARPAV per i Comuni del Veneto (anno 2016 e 2021).

Nella figura 05 sono rappresentati territorialmente i Comuni che hanno risposto al questionario 2021.

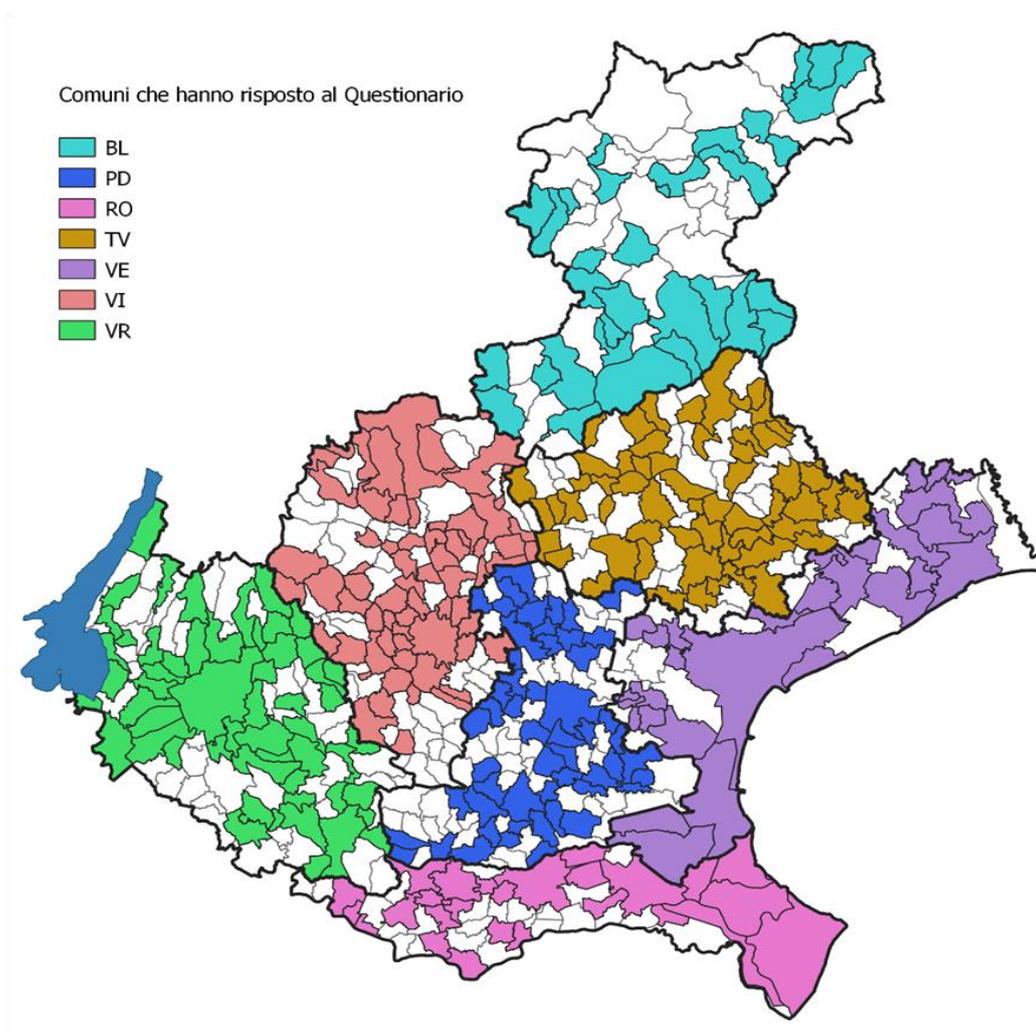


Figura 05: Risposte al questionario ARPAV per i Comuni del Veneto (anno 2021).

La percentuale di Comuni rispondenti, ed in particolare le percentuali riferite all'intera popolazione regionale, fa sì che il campione statistico per ambedue gli anni presi a riferimento si possa considerare rappresentativo di tutti i Comuni della Regione Veneto.

2.1.2 Risultati

Nell'effettuare l'analisi statistica si sono considerati i seguenti dati di ingresso contenuti nei questionari:

- consumo comunale di energia elettrica per illuminazione pubblica esterna negli anni 2016 e 2021 in kWh;
- numero di punti luce presenti nel territorio comunale al 31 dicembre 2016 ed al 31 dicembre 2021.

Accanto a questi dati si è inoltre utilizzata l'informazione sul numero di abitanti per ciascun Comune. (Fonte: ISTAT)

Si sono quindi effettuate le analisi sui seguenti parametri:

- Consumo per abitante (kWh)
- Punti luce per abitante
- Potenza per punto luce (W): tale parametro è stato ricavato dal consumo utilizzando il dato convenzionale di 4200 ore di accensione annua.

I data set iniziali sono stati ripuliti eliminando gli outliers statistici (considerati come i valori che si situano oltre tre volte la distanza interquartile).

Occorre notare come le risposte meno affidabili siano state quelle sui consumi, dimostrando ancora una volta come la conoscenza dei Comuni di tale parametro non sia sempre soddisfacente.

I risultati ottenuti per le statistiche descrittive sono riportati nella tabella 02; nelle figure 06 e 07 vengono rappresentate a titolo esemplificativo le distribuzioni di frequenza per i parametri consumo per abitante e potenza per punto luce, relativi all'anno 2021.

	Consumo per abitante (kWh)		Potenza per Punto Luce (W)		Punti Luce per abitante	
	2016	2021	2016	2021	2016	2021
N	451	331	449	330	466	341
Min	8	12	12	12	0.10	0.11
Max	369	396	286	289	1.22	0.99
Media	99	80	99	77	0.24	0.25
Mediana	86	70	96	73	0.21	0.22

Tabella 02: Statistiche descrittive dei parametri analizzati.

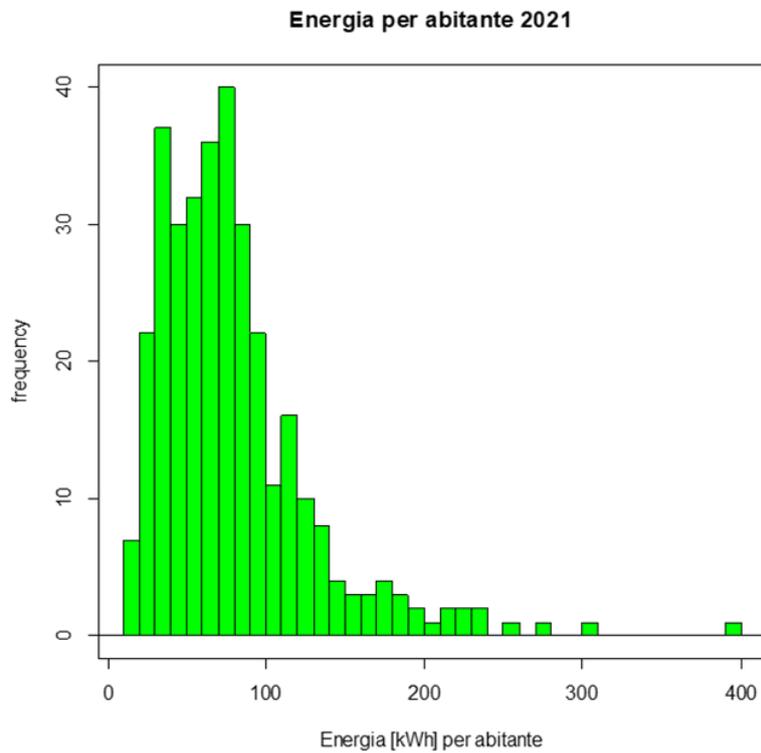


Figura 06: Distribuzione statistica del parametro consumo energetico per abitante in kWh (anno 2021).

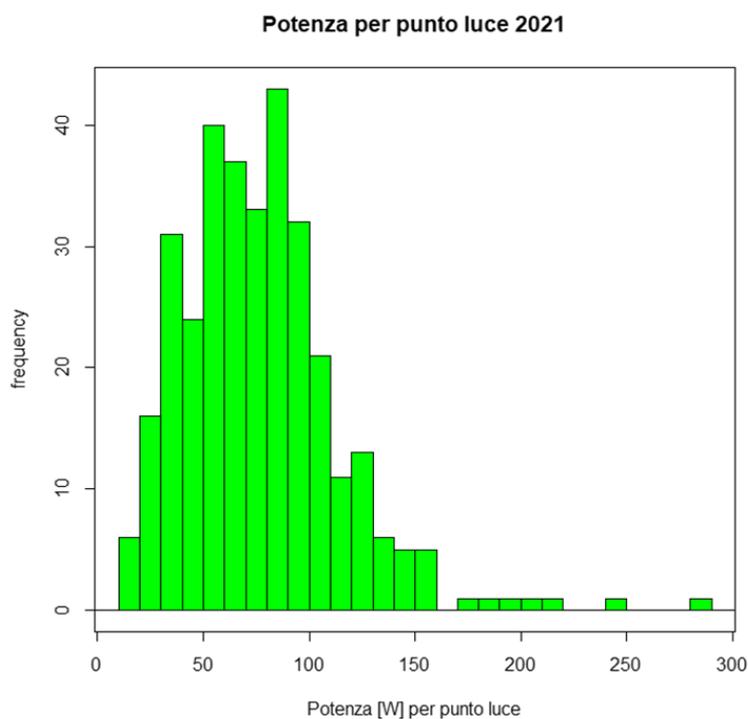


Figura 07: Distribuzione statistica del parametro potenza per punto luce in W (anno 2021).

I confronti statistici tra i parametri effettuati con test non parametrici (Wilcoxon), in quanto le due distribuzioni 2016 e 2021 non sono risultate gaussiane (Shapiro-Wilk), mostrano una differenza significativa tra le mediane negli anni per i parametri “Energia Consumata/Abitante”, “Potenza/Punto luce”, “N. punti luce/abitante”.

Data la significatività statistica del campione considerato si è potuto stimare tramite normalizzazione al numero di abitanti i parametri globali per l'intera Regione Veneto: in tabella sono riportati i risultati ottenuti, con i dati delle prime tre righe ricavati dal campione di risposte ottenute dai questionari, che comunque possono essere considerati rappresentativi a livello regionale, mentre i dati globali di consumo, potenza e punti luce sono ottenuti normalizzando all'intera regione i dati campionati.

Il dato relativo al risparmio economico è stato stimato assumendo un costo medio per illuminazione pubblica nel 2021 pari a 0.2163 €/kWh (Fonte: Acquirente Unico - Il Trimestre 2021 - Forniture in bassa tensione per illuminazione pubblica – 10 kW).

	Anno 2016	Anno 2021	Differenza	Differenza %
Consumo per abitante (kWh)	84	67	-17	-20%
Potenza per punto luce (W)	98	76	-22	-22%
Punti luce per abitante	0,206	0,212	0,006	3%
Consumo (GWh)	411,0	327,3	-83,7	-20%
Potenza (MW)	97,9	77,9	-20,0	-20%
Punti luce	1.010.100	1.028.500	18.400	2%
Risparmio economico			18 MILIONI €	

Tabella 03: Stima dei parametri di interesse per l'intera Regione Veneto (anno 2016 e 2021).

A conferma dei dati di consumo stimati sulla base dei questionari si riportano anche i corrispondenti dati di consumo resi disponibili da Terna, pari rispettivamente a 418.0 GWh per l'anno 2016 e a 368.7 GWh per l'anno 2021 (Dati TERNA: Statistiche regionali 2016 e 2021).

REGIONE	GWh	ABITANTI	KWh / ab
Piemonte	443,2	4251351	0,104
Lombardia	705,5	9976509	0,071
Emilia Romagna	373,6	4437578	0,084
Toscana	312,7	3661981	0,085
Lazio	377,9	5720536	0,066
Sicilia	447,1	4814016	0,093
Puglia	351,4	3907683	0,090
Campania	413	5609536	0,074
Veneto	368,7	4849553	0,076

Tabella 04: Dati di consumo per illuminazione pubblica riferiti all' anno 2021 (fonte: TERNA)

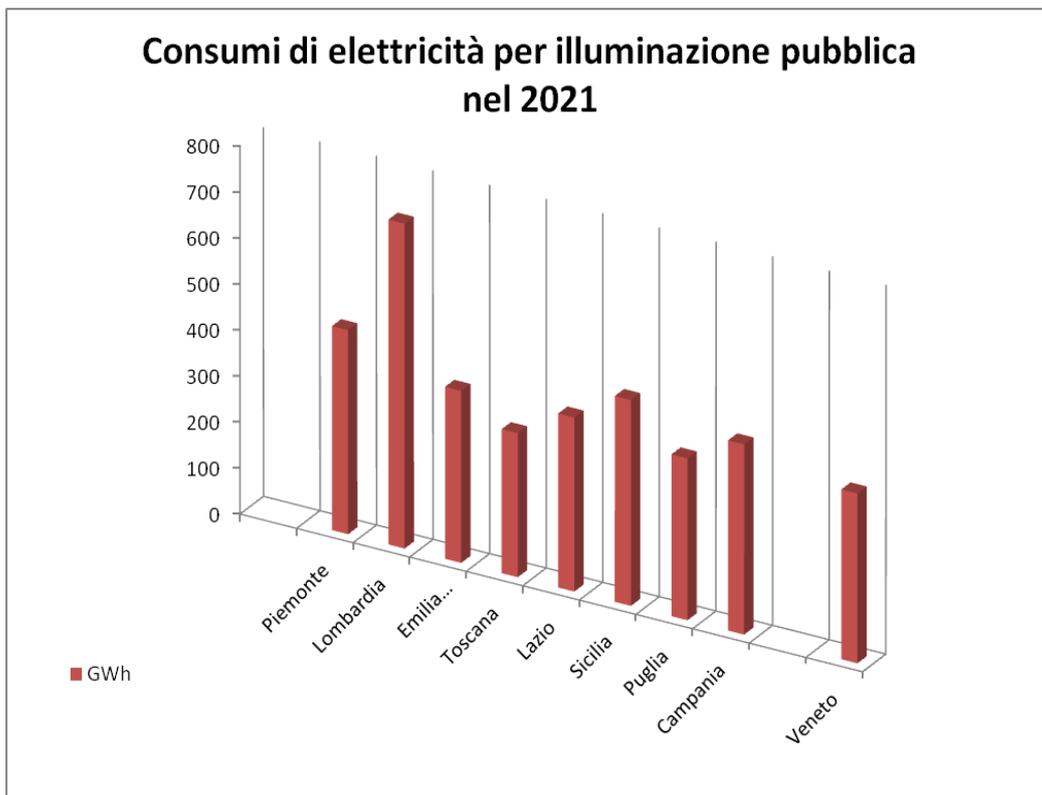


Figura 08: Consumo complessivo di elettricità per illuminazione pubblica per alcune regioni italiane (anno 2021).

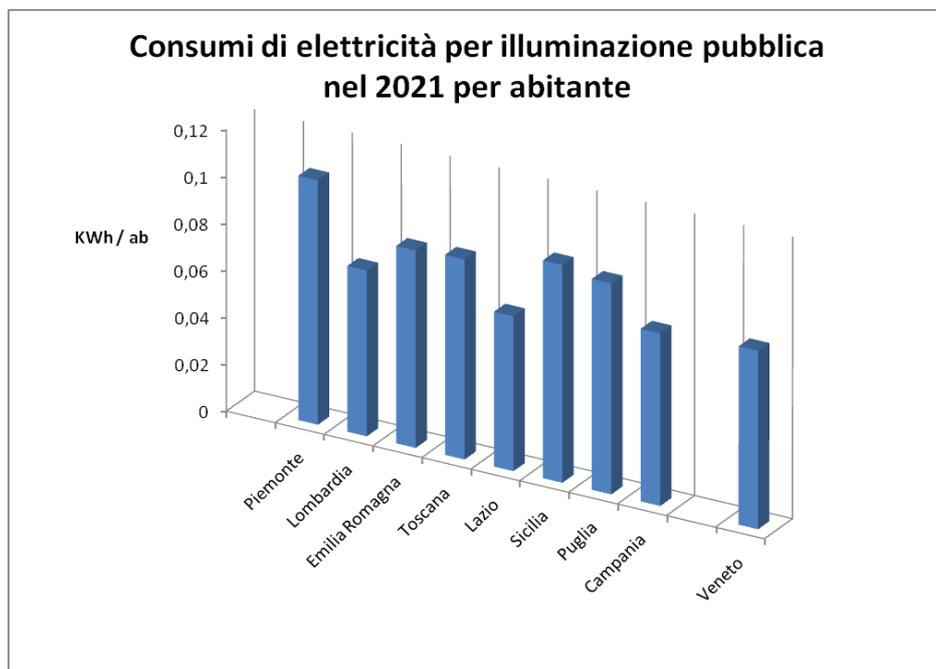


Figura 09: Consumo di elettricità per abitante per illuminazione pubblica in alcune regioni italiane (anno 2021)

I dati in tabella 03 evidenziano una notevole riduzione del consumo di energia per pubblica illuminazione a livello regionale nell'anno 2021 rispetto all'anno 2016.

Stimando per l'anno 2021 una efficienza media regionale pari a 100 lm/W, il flusso totale emesso dagli impianti pubblici comunali, calcolato a partire dalla potenza totale stimata, risulta pari a circa 7.8 miliardi di lumen, sostanzialmente paragonabile entro le incertezze agli 8.3 miliardi di lumen stimato dai questionari 2013 (come riportato nel Rapporto 2015 al Consiglio Regionale).

Se si considera che l'emissione verso l'alto (diretta o per riflessione dal terreno) risulta sicuramente diminuita poiché i nuovi apparecchi pubblici rispettando la Legge Regionale non emettono quasi nulla direttamente verso l'alto, il flusso emesso verso l'alto dagli impianti pubblici risulta diminuito di almeno il 20% rispetto a quello stimato relativo all'anno 2013.

Il numero di punti luce per abitante rimane quasi invariato tra il 2016 e il 2021, mentre il consumo di elettricità per illuminazione pubblica del Veneto risulta ridotto di circa il 20% rispetto al 2016, corrispondente ad un dato di consumo per abitante leggermente inferiore rispetto ad altre regioni confrontabili: sicuramente ciò è il risultato dell'efficientamento dei punti luce da parte dei Comuni, in particolare con l'implementazione delle sorgenti a LED, che presentano oltre ad una elevata efficienza anche caratteristiche di modularità e dimmerabilità nelle ore notturne assai superiori ad altre tipologie di sorgenti luminose.

2.1.2.1 Analisi per classi demografiche di abitanti

Sono state effettuate analisi statistiche suddividendo i Comuni per classi di abitanti: a partire dalla classificazione dei Comuni sulla base della popolazione (articolo 156 del testo unico delle leggi sull'ordinamento degli enti locali - D.lgs. 267/2000), sono state individuate cinque fasce demografiche di raggruppamento in base alla numerosità campionaria; in ciascuna fascia ricadono un numero statisticamente significativo di Comuni che hanno risposto al questionario:

- Comuni con meno di 3000 abitanti (2016: 137 su 193; 2021: 84 su 181);
- Comuni compresi tra 3000 e 10000 abitanti (2016: 205 su 257; 2021: 136 su 247);
- Comuni compresi tra 10000 e 20000 abitanti (2016: 77 su 90; 2021: 77 su 95);
- Comuni compresi tra 20000 e 60000 abitanti (2016: 28 su 31; 2021: 29 su 35);
- Comuni con più di 60000 abitanti (2016: 4 su 5; 2021: 5 su 5; corrispondenti ai capoluoghi di provincia esclusi Rovigo e Belluno).

I risultati maggiormente significativi sono riportati nelle figure 10 e 11.

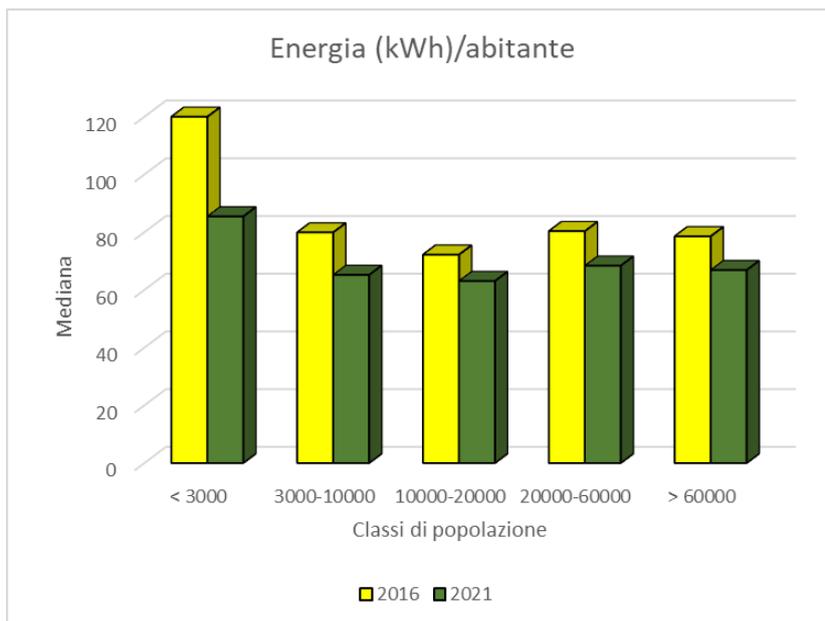


Figura 10: Consumo per abitante per le varie classi demografiche di popolazione (anno 2016 e 2021).

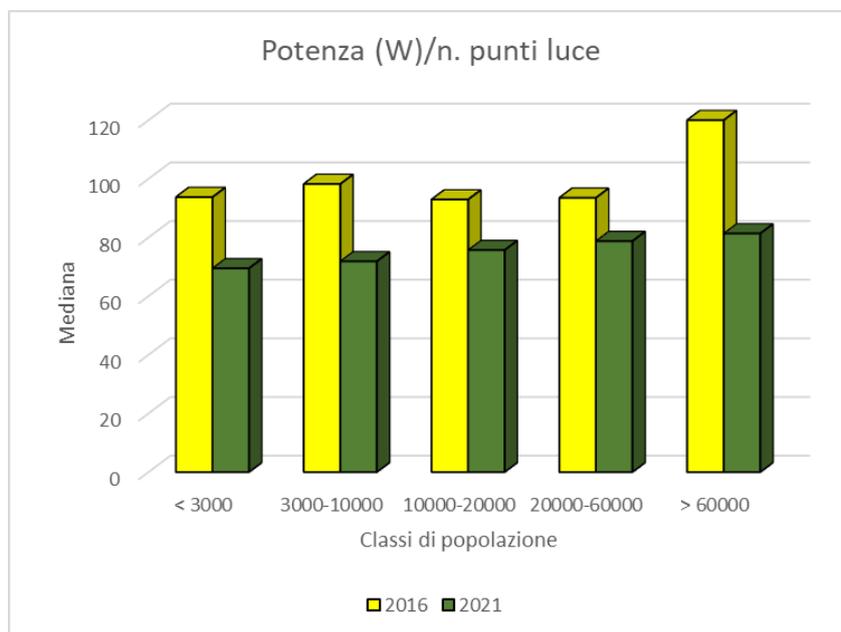


Figura 11: Potenza per punto luce per le varie classi demografiche di popolazione (anno 2016 e 2021).

Nelle figure 12 e 13 si riportano i risultati relativi ai soli capoluoghi di provincia.

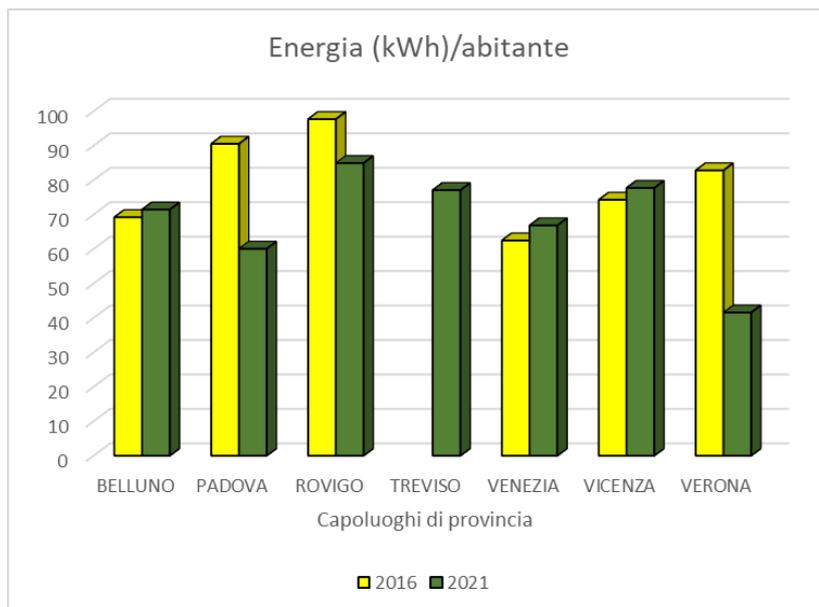


Figura 12: Consumo energetico per abitante per i capoluoghi di provincia (anno 2016 e 2021).

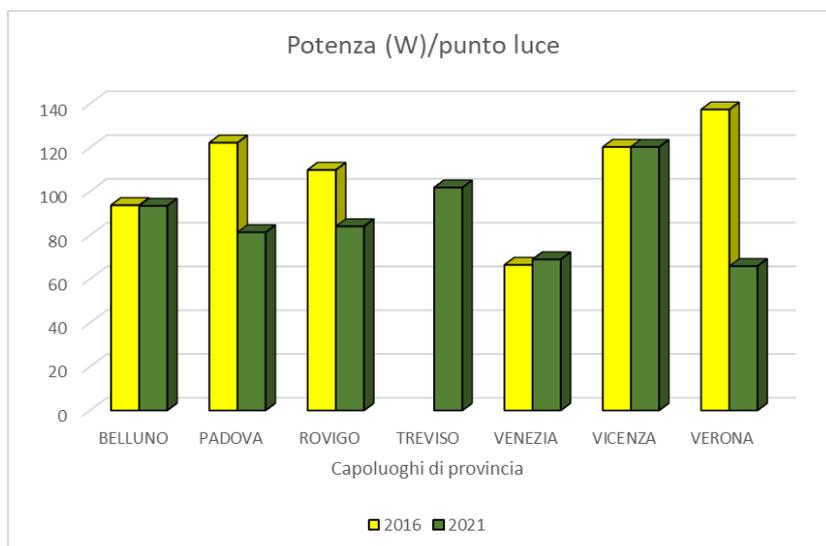


Figura 13: Potenza per punto luce per i capoluoghi di provincia (anno 2016 e 2021).

I dati relativi ai capoluoghi di provincia evidenziano in particolare l'efficacia degli interventi attuati nei capoluoghi di Verona, Padova e Rovigo.

2.1.2.2 Stato di applicazione della normativa regionale

Per quanto riguarda invece la seconda parte dei questionari volta a conoscere lo stato di attuazione delle richieste legislative, i risultati sono riportati nella tabella 05 e nelle figure seguenti.

Quesiti	RISPOSTA POSITIVA	
	2016	2021
Redazione PICIL	47%	58%
Adeguamento regolamento edilizio	29%	69%
Autorizzazione comunale per gli impianti di illuminazione esterna	30%	35%
Adeguamento impianti privati non conformi	16%	22%

Tabella 05: Risultati questionario per i Comuni del Veneto (anno 2016 e 2021).

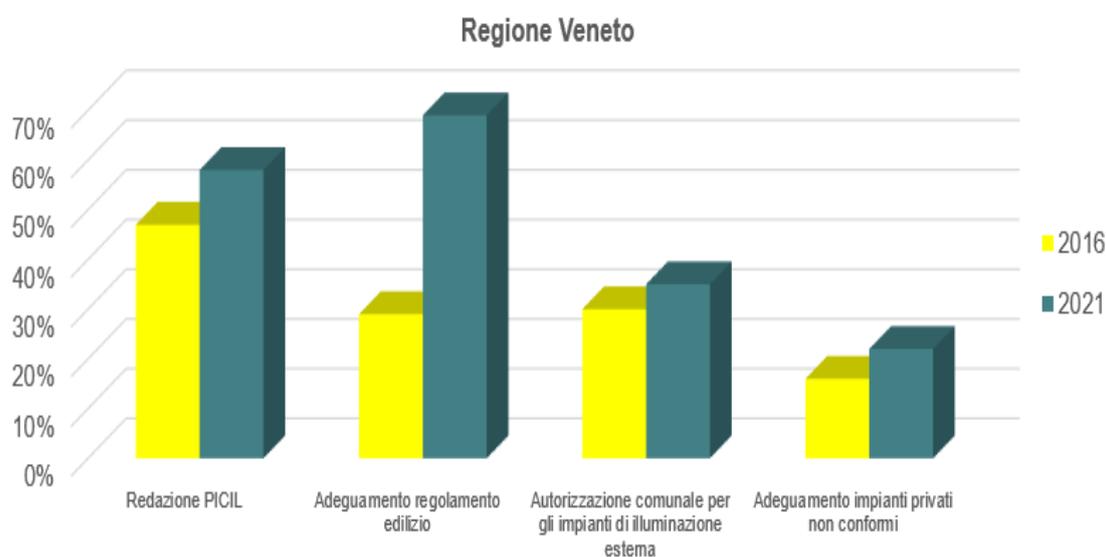


Figura 14: Risposte positive per i Comuni (anno 2016 e 2021).

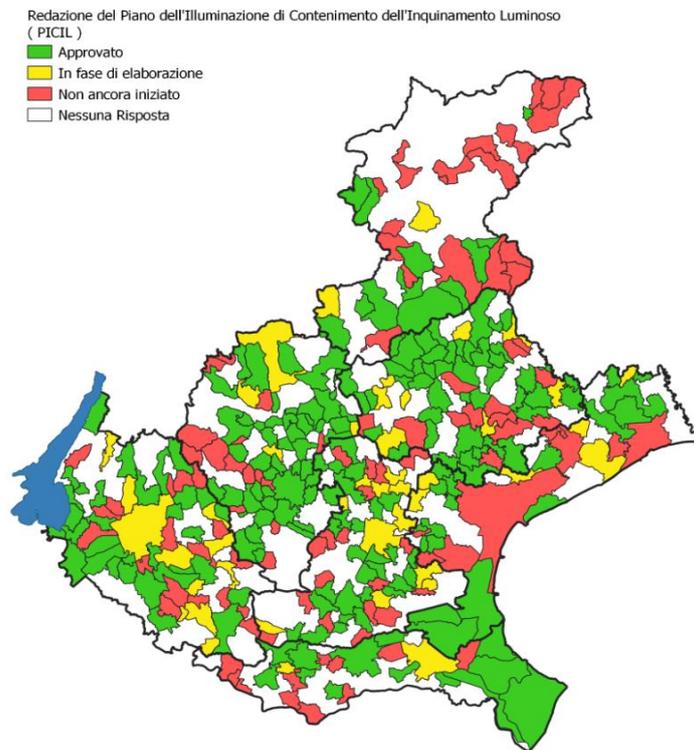


Figura 15: Redazione del Piano Comunale per il Contenimento dell'Inquinamento Luminoso (anno 2021).

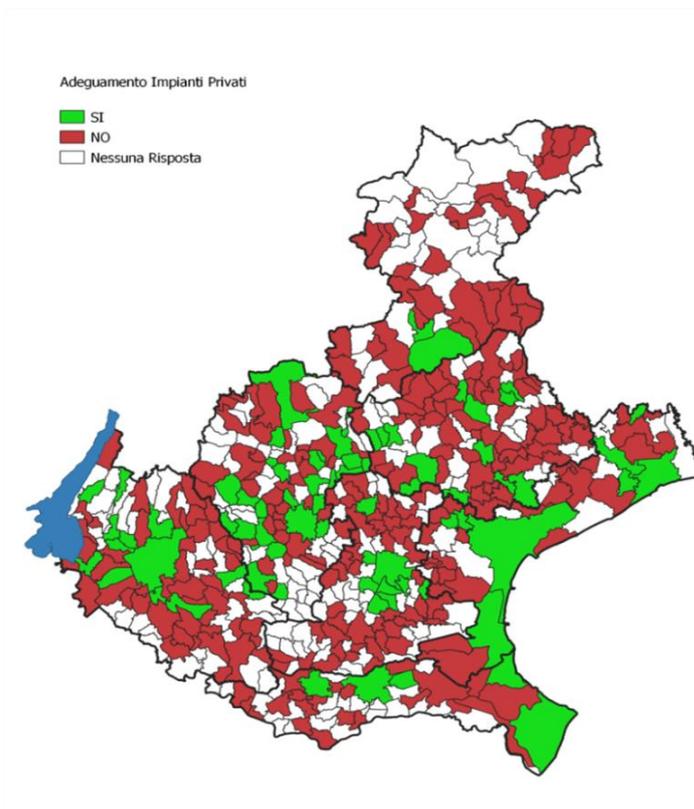


Figura 16: Adeguamento impianti privati (anno 2021).

Pur con un generale miglioramento dell'applicazione della Legge Regionale, rimane sempre assai basso il numero di Comuni che intervengono nei confronti degli impianti privati non conformi, che come ormai acclarato costituiscono in Veneto la gran parte degli impianti fuori norma e che producono la maggiore quantità di inquinamento luminoso.

2.1.2.3 Altri risultati: numero sorgenti a LED sul totale

Si riportano di seguito in grafico i risultati ricavati dal campione di risposte ottenute dai questionari, relativamente al numero di punti luce con sorgente a LED sul totale, che risultano in netto aumento.

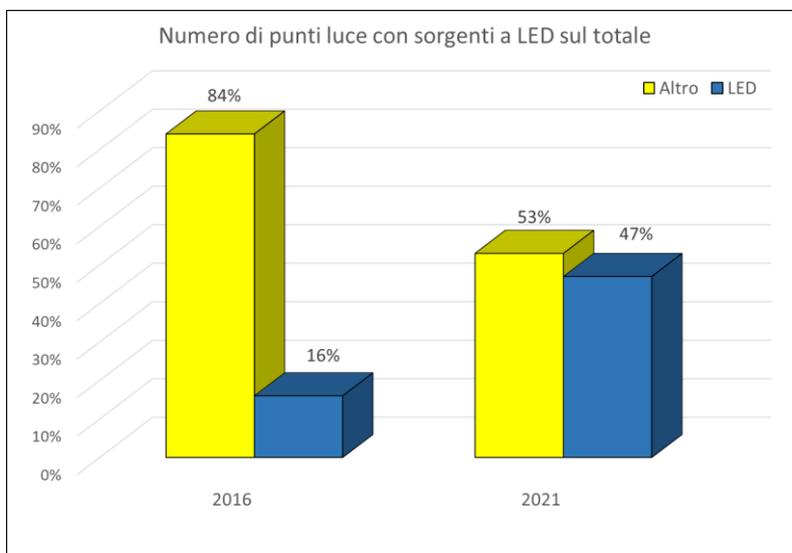


Figura 17: Numero di punti luce con sorgenti a LED sul totale (anno 2016 e 2021).

2.1.2.4 Altri risultati: stima numerosità regionale impianti sportivi dotati di illuminazione esterna

Una stima approssimativa del numero degli impianti sportivi dotati di illuminazione esterna presenti nel territorio regionale all'anno 2021 è stata ottenuta tramite normalizzazione sul numero di abitanti dell'intera regione dei dati campionati dal questionario: risulterebbero circa 2200 impianti sportivi dotati di illuminazione esterna, molti dei quali ancora con impianti energivori e disperdenti grandi quantità di luce verso il cielo.

2.1.3 Considerazioni

Dall'analisi dei questionari si possono trarre alcune considerazioni rilevanti:

- Il consumo per illuminazione pubblica si è ridotto di circa il 20% tra il 2016 e il 2021, grazie all'efficientamento energetico effettuato, in particolare con l'utilizzo delle sorgenti a LED (ora al 50% circa) e con la dimmerazione dell'illuminazione nelle ore notturne;
- il consumo per abitante risulta leggermente inferiore a quello di Regioni con caratteristiche territoriali simili;
- Il numero di punti luce per illuminazione pubblica è rimasto sostanzialmente invariato;
- Il flusso emesso verso l'alto dagli impianti di illuminazione comunali è leggermente diminuito, ed è stimabile pari a 7.8 miliardi di lumen;
- Il risparmio economico complessivo è quantificabile in circa 18 milioni di euro;
- la Legge Regionale è ora più conosciuta e applicata, ma rimane una certa "ritrosia" da parte dei Comuni nel controllare l'illuminazione privata esistente e sottoporre ad autorizzazione i nuovi impianti, controllando la progettazione illuminotecnica;
- rimangono comunque ancora notevoli margini di miglioramento, sia tramite l'efficientamento degli impianti esistenti, sia nell'utilizzare estesamente le regolazioni dei flussi luminosi notturni, sia nel rendere meno energivori e inquinanti gli impianti di illuminazione sportivi.

2.2 La Brillanza del Cielo rilevata dalle Centraline di Monitoraggio

La rilevazione dei dati di brillantezza tramite le centraline di monitoraggio avviene in automatico ogni cinque minuti durante tutta la notte: ai dati raccolti dalle centraline installate da Arpav si affiancano quelli provenienti dalle centraline del Dipartimento di Fisica ed Astronomia dell'Università di Padova, installate presso gli osservatori astronomici di Cima Ekar e del Pennar - Asiago - VI e dell'associazione di tutela del cielo "Venetostellato", situati in vari osservatori amatoriali distribuiti nel territorio regionale. Sul tetto della sede Arpav è presente anche uno strumento di monitoraggio fotometrico di differente tipologia (denominato TESS), fornito in uso gratuito dall'Università di Madrid nell'ambito del progetto europeo STAR4ALL, oltre ad uno spettrometro a media risoluzione (si veda paragrafo 2.4).

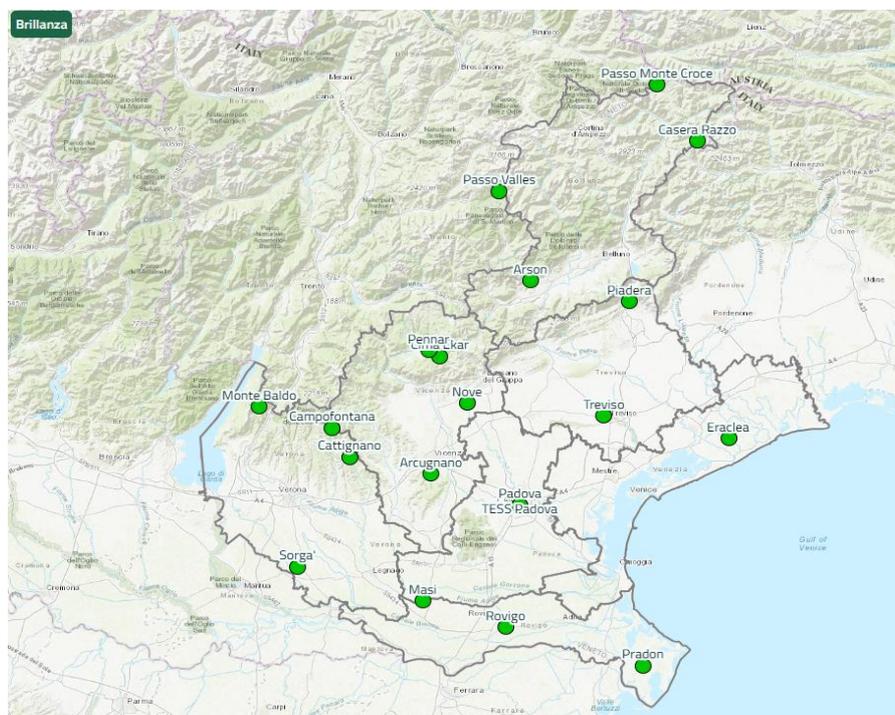


Figura 18: Localizzazione delle centraline di monitoraggio della brillantezza del cielo notturno

Per ogni stazione sono pubblicati sul sito di ARPAV i dati di brillantezza degli ultimi tre giorni, in formato grafico e tabellare, raccolti da un rilevatore SQM (Sky Quality Meter), che registra la luce entro un determinato campo visuale.

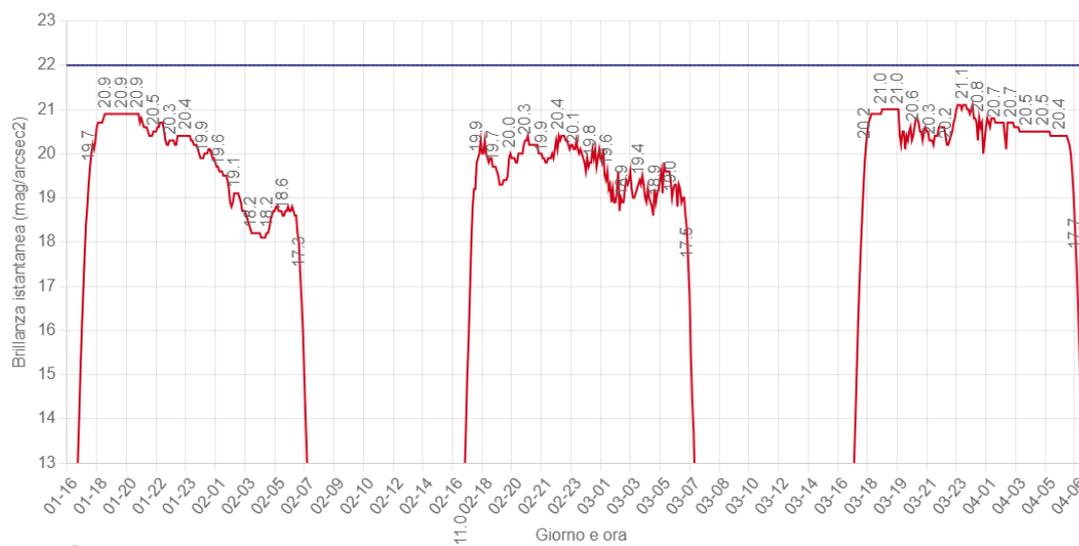


Figura 19: Esempio di dati di brillantezza pubblicati online da centralina SQM

In termini astronomici, il valore della luminosità o brillantezza del cielo è espressa in magnitudini per arcosecondo quadrato ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$). A questa unità di misura corrisponde una scala inversa, ovvero un cielo di $21.0 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ sarà più buio di un cielo con brillantezza di $20.0 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$, dove con più buio s'intende un cielo in cui il numero di stelle visibili sia maggiore a parità di zona osservata.

Il valore massimo di brillantezza del cielo non inquinato osservato da Terra è pari a circa $22 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$.

2.2.1 Strumentazione e Campionamento

La luminosità (detta brillantezza) del cielo notturno viene misurata attraverso un semplice strumento, denominato Sky Quality Meter (SQM), composto da un sensore appositamente calibrato in grado di registrare la luce entro un determinato cono visuale; lo strumento viene posto in posizione fissa ed orientato verso lo zenit. Per la loro affidabilità, versatilità nelle varie versioni portatili e per postazioni fisse, e per la loro economicità, questi misuratori hanno avuto una larga diffusione e si sono prestati anche a realizzare reti di monitoraggio.

Gli SQM correntemente usati sono di due tipi: quelli portatili, usati per misurare il cielo da diverse postazioni e in diverse zone del cielo, e quelli fissi che registrano le misure con continuità; il campo di vista totale va dai ± 20 gradi per gli SQM a campo ristretto, realizzati con l'uso di una lente in ingresso, come quelli utilizzati nelle centraline di monitoraggio, a ± 40 gradi per quelli a grande campo.

Accanto a queste sono state ottenute misure a campione durante l'anno con i telescopi Copernico da 182 cm e Schmidt da 90 cm di diametro, situati ad Asiago, a Cima Ekar, dell'Osservatorio Astronomico di Padova, Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), dotati di camere CCD ed equipaggiati con filtri "standard". Per le misure della luminosità del cielo vengono puntati su campi che contengono stelle di luminosità nota con precisione.

Infine sono stati ottenuti spettri a media risoluzione del cielo notturno con lo spettrografo del telescopio da 122 cm del Dipartimento di Astronomia a diverse altezze dall'orizzonte e in diverse condizioni di osservazione. Questi spettri sono stati confrontati con altri, ottenuti in siti privi di inquinamento luminoso, con il New Technology Telescope (NTT) dell'European Southern Observatory, a La Silla in Cile, e con il Telescopio Nazionale Galileo dell'INAF, all'isola di La Palma, isole Canarie, nel 2013 e nel 2014, ed anche con gli spettri ottenuti a partire dal 2021 dallo spettrometro installato presso la sede di ARPAV (si veda paragrafo 2.4).

2.2.2 Calibrazione delle misurazioni

Per impegno e complessità delle osservazioni e della riduzione dei dati, le osservazioni ai telescopi sono state limitate a poche notti distribuite negli anni ma costituiscono un importante riferimento per la calibrazione assoluta delle misure degli SQM che, sebbene si siano dimostrati molto stabili ed affidabili, integrano un segnale in un intervallo spettrale molto ampio che non corrisponde esattamente agli standard astronomici internazionali delle bande del blu (B) o del visibile (V), nelle quali invece sono state effettuate storicamente le osservazioni astronomiche. Le trasformazioni possono essere fatte sulla base di queste specifiche osservazioni di telescopio oppure anche usando, come indicazione, quelle che sono state pubblicate in letteratura (Cinzano, 2005: http://unihedron.com/projects/darksky/sqmreport_v1p4.pdf).

Non esiste una semplice trasformazione dal sistema SQM al sistema standard V (visuale) perché, a rigore, vi è dipendenza dalla distribuzione spettrale dell'emissione del cielo, quindi dalle sorgenti e dall'intensità dell'inquinamento luminoso. Per questo gli SQM portatili del Dipartimento di Fisica e Astronomia e di ARPAV (Dipartimento di Padova) sono stati testati in diversi siti, a differenti livelli di inquinamento luminoso, ed utilizzati in contemporanea alle misure di fondo cielo nei sistemi standard con i telescopi (La Silla, La Palma, Asiago).

Le differenze tra i dati SQM e quelli del sistema standard al telescopio sono sempre positive e dell'ordine di 0.30-0.55 magnitudini, in accordo con quanto riportato nella letteratura citata: alcune discrepanze rilevanti si spiegano con la presenza o meno della Via Lattea nel campo di vista o di alcune sorgenti brillanti che negli SQM vengono integrate assieme al cielo. Tenendo conto delle sorgenti nel campo, misure ripetute si sono dimostrate stabili entro qualche percento, sia tra SQM e telescopio sia tra diversi SQM. Tutti gli SQM di nuova installazione sono stati messi in misura per alcune settimane presso il sito di Padova, affiancati all'SQM di ARPAV.

Infine per alcuni SQM sono state svolte caratterizzazioni complete presso il laboratorio di Fotometria dell'Università di Padova (si vedano i riferimenti bibliografici per le descrizioni dettagliate).

2.2.3 Risultati

Le misure della luminosità del cielo notturno richiedono un'attenta analisi dei dati: il cielo notturno, infatti, è variabile in un ampio intervallo sia per cause naturali (attività ionosferica, presenza della Luna, via Lattea o altri corpi celesti luminosi) che per variabilità del contributo dell'inquinamento luminoso dovuta all'accensione o spegnimento di impianti, oppure per effetto indiretto dovuto alla presenza di aerosol, foschie o nubi. Questi effetti contribuiscono sia a variazioni occasionali che sistematiche e vanno identificati e rimossi in quanto possono portare a variazioni anche di un ordine di grandezza durante la stessa notte o notti diverse.

Il confronto dei dati e delle statistiche deve quindi essere fatto con tecniche di analisi omogenee.

In particolare il grande numero di dati acquisiti (all'incirca 50000 dati per stazione per anno) viene analizzato statisticamente attraverso istogrammi, selezionando quale parametro statistico significativo la moda del picco a maggior brillantezza, che rappresenta il valore del cielo senza copertura nuvolosa e con la Luna non presente.

Nei casi particolari si analizzano i dati attraverso altre tecniche statistiche, quali il densitogramma, oppure attraverso la selezione delle sole notti con determinate caratteristiche, o di copertura nuvolosa o di lunazione.

Infine, come già sottolineato, occorre considerare che il valore della brillantezza misurata del cielo notturno non dipende esclusivamente dall'inquinamento luminoso prodotto dalle varie fonti di illuminazione, ma è "mediato" in modo assai variabile da caratteristiche atmosferiche, quali trasparenza del cielo, e dalla presenza di aerosol, nubi, polveri sottili e altri inquinanti atmosferici, il cui peso nella diffusione della luce non risulta semplice da calcolare e discriminare.

Le serie storiche delle misure effettuate dalla rete di monitoraggio con continuità a partire dal 2011 consentono di presentare gli andamenti nel tempo: qui verranno presentate e discusse quelle delle stazioni maggiormente significative, sia per continuità nel tempo sia per posizione geografica.

E' importante notare che la scala dei valori di brillantezza in ordinata è logaritmica inversa: la scala inversa comporta che più il valore di brillantezza è alto minore è l'inquinamento luminoso, la scala logaritmica significa che la differenza in valore assoluto dell'inquinamento luminoso è molto più alta di quella rappresentata in grafico: è possibile dai valori misurati calcolare quanto sia l'apporto dell'illuminazione artificiale all'inquinamento luminoso, sia quante volte il cielo è più inquinato rispetto a quello naturale (Tab.06).

Sito	% di inquinamento luminoso dovuto all'illuminazione artificiale	Luminosità del cielo misurata rispetto al fondo naturale
Padova	96 %	28 volte
Nove (VI)	88 %	8 volte
Ekar (VI)	70 %	3 volte
Passo Valles (BL)	47 %	2 volte

Tabella 06: Confronti tra cielo naturale e inquinamento luminoso artificiale

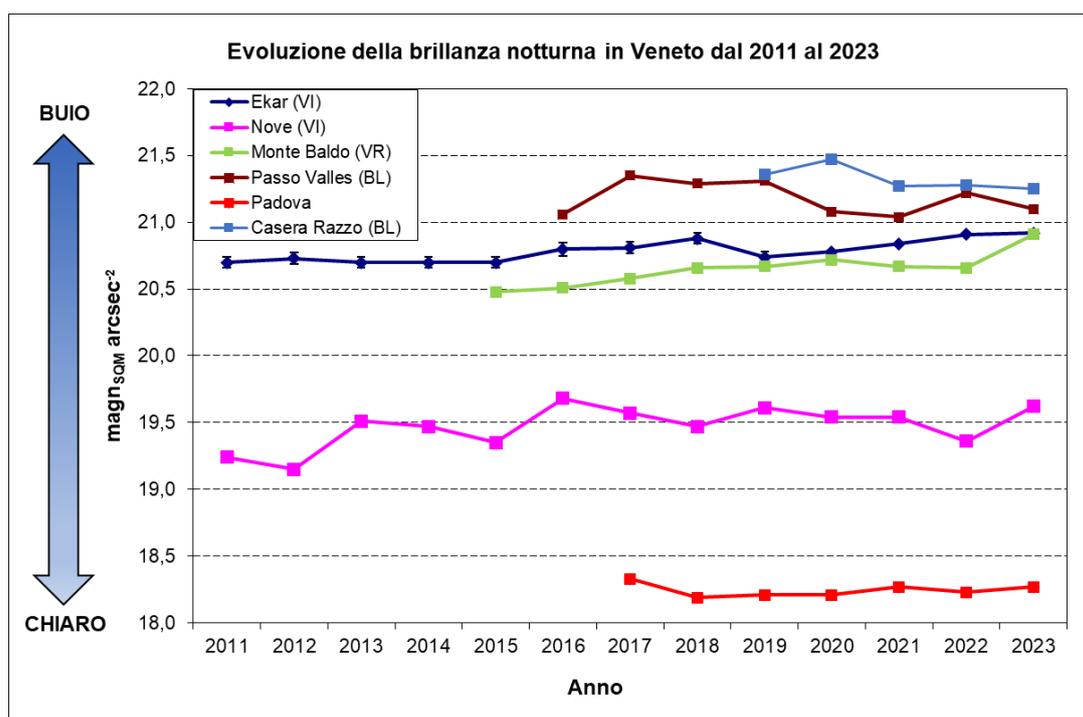


Figura 20: Evoluzione della brillantezza notturna nel Veneto

I risultati ottenuti presentati nella fig. 20 indicano la sostanziale costanza della brillantezza per la stazione di pianura (Padova) e per quelle di alta montagna (Passo Valles e Casera Razzo), mentre per le altre appare, pur con varie oscillazioni, una tendenza alla decrescita della brillantezza e quindi ad un cielo leggermente più buio.

La spiegazione non risulta ancora del tutto chiarita, ed è oggetto di studio non solo da parte del nostro gruppo ma anche da altri team di scienziati in tutto il mondo: si evidenziano qui alcune ipotesi di studio concorrenti, rimandando alla bibliografia per approfondimenti.

- Una prima ipotesi riguarda un possibile degrado strumentale, che comporti nel tempo una risposta diversa degli strumenti: tale ipotesi, non chiaramente notata dai classici confronti strumentali periodici, svolti con misuratori portatili affiancati a quelli fissi, è stata da noi approfondita sia utilizzando le misure della luce solare all'alba e tramonto come calibratore, non solo sulle nostre stazioni ma anche avendo a disposizione i dati di 4 anni di monitoraggio con la stessa tipologia di strumenti presso l'Osservatorio Astronomico di La Silla in Cile, ove l'inquinamento luminoso artificiale risulta pressoché assente, sia con misure presso il laboratorio di Fotometria dell'Università di Padova.
- I risultati di tali ricerche indicano un certo "rabbuiamento" degli strumenti nelle stazioni del Veneto, differente però a seconda della stazione, ma non pare che tale fenomeno si ritrovi a La Silla in Cile, indicando quindi che se il

degrado strumentale risulta presente non è uniforme, e comunque non spiega del tutto i trend osservati dalla rete di monitoraggio.

- Un'altra ipotesi di lavoro consiste nel considerare l'influenza quantitativa dell'inquinamento atmosferico: gli studi di correlazione svolti con i dati a disposizione di ARPAV non sono risultati risolutivi, sia per la differente scansione temporale dei dati a disposizione (in alcuni casi giornalieri, in altri casi orari con forte variabilità), sia perché si è in presenza di varia tipologia di inquinanti la cui influenza sull'inquinamento luminoso non è ancora del tutto chiarita, anche se non è da escludere un effetto significativo.
- Infine recentemente abbiamo iniziato ad esaminare l'andamento della radiazione solare negli anni, grazie ai dati disponibili in numerose stazioni meteorologiche di ARPAV, alcune nella stessa localizzazione delle centraline della rete di brillantezza, altre in locazioni assimilabili: la radiazione solare è sicuramente un indicatore strettamente correlato con la trasparenza e diffusione atmosferica, che gioca un ruolo importante nell'inquinamento luminoso e quindi nella brillantezza misurata da terra. I dati indicano una certa tendenza alla crescita della radiazione solare negli ultimi anni per le località di pianura e di media montagna, mentre per le stazioni di alta montagna non si ravvisa tale andamento.

Nella figura 21 è riportato l'andamento temporale per un sito significativo, scelto in prossimità della stazione di monitoraggio della brillantezza sita a Nove (VI).

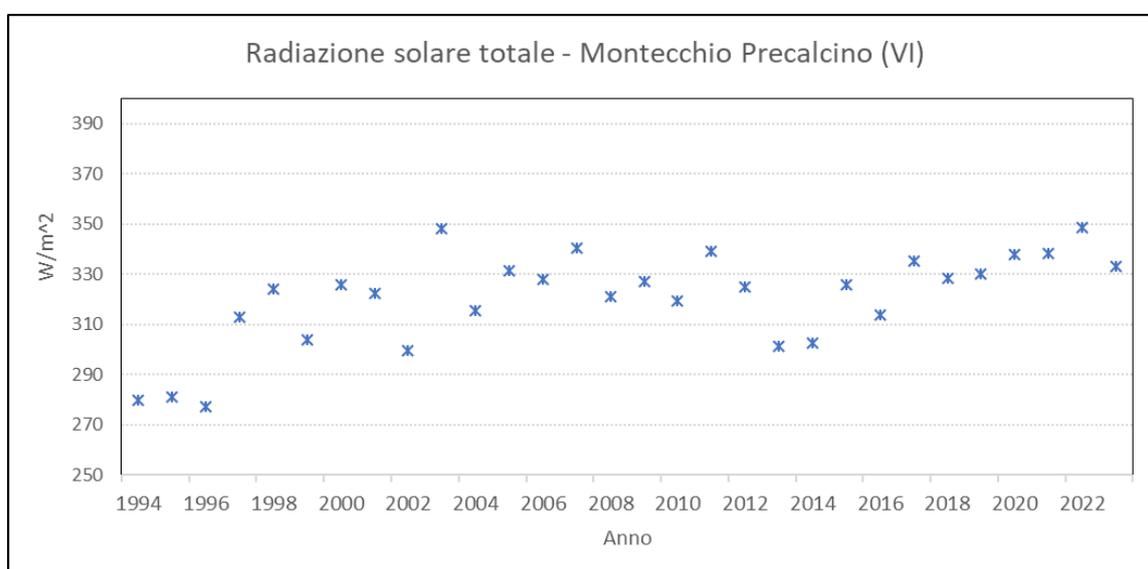


Figura 21: Evoluzione della radiazione solare nella stazione di Montecchio Precalcino

I dati della radiazione solare di Montecchio Precalcino (fig.21), che sono tra i più significativi sia per estensione temporale che per collocazione, in pianura e a ridosso delle Prealpi, mostrano un netto aumento dei valori negli ultimi trent'anni, con rapida crescita a cavallo dell'inizio di questo secolo, più contenuto e con andamento oscillante nell'ultima decade.

Questo dimostra che c'è stato un aumento della trasparenza effettiva dell'atmosfera, dovuta con ogni probabilità alla diminuzione dell'inquinamento atmosferico di polveri a lungo termine, pur permanendo episodi "acuti" in particolare nel periodo invernale.

L'inquinamento luminoso dipende infatti dalla diffusione della luce emessa, da parte dell'atmosfera, in particolare dalle polveri.

La distribuzione della radiazione solare giornaliera, in due istogrammi separati sovrapposti, relativi agli anni 1994-2000 e 2017-2023, (fig.22), conferma i risultati precedenti e dà un valore quantitativo alla crescita della radiazione solare, stimabile tra il 5% e il 10% .

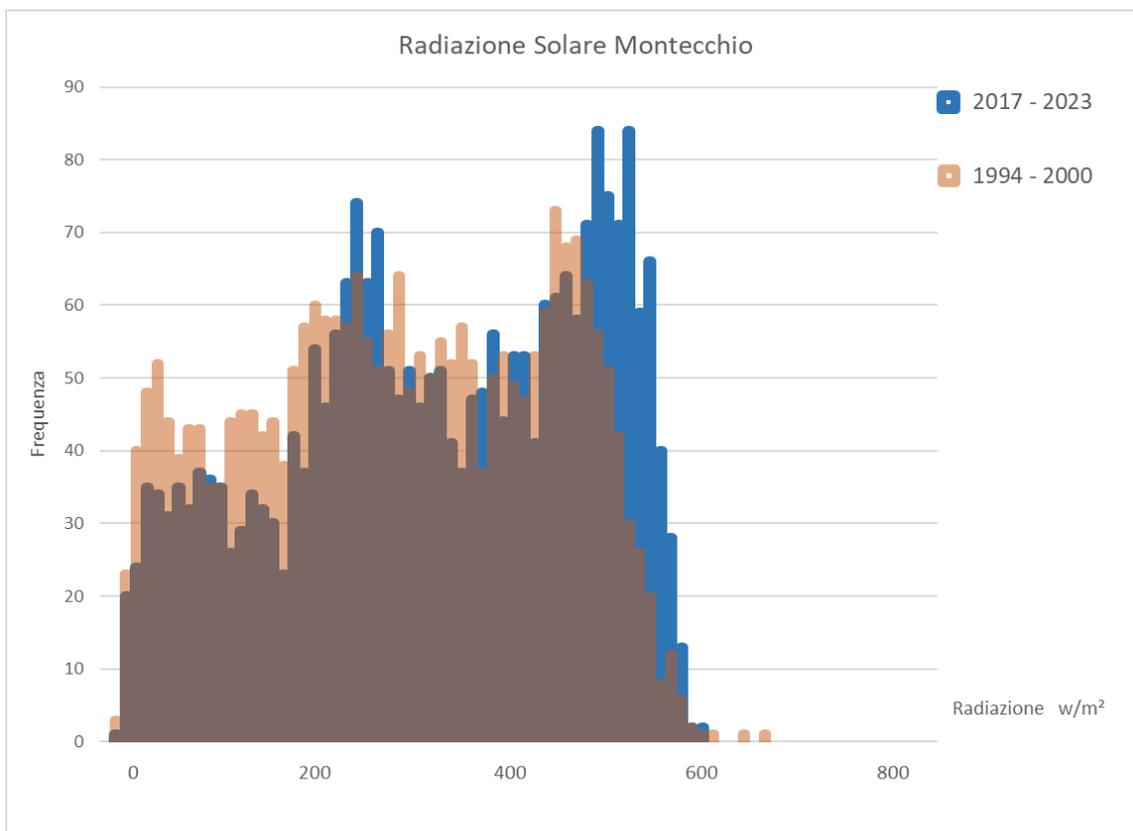


Figura 22: Istogrammi per diversi periodi temporali della radiazione solare nella stazione di Montecchio Precalcino

È importante ricordare che la variabilità solare intrinseca è trascurabile, contenuta in soli 1-2 per mille (contro il 5-10% osservati dalle stazioni di misura a terra, come sopra riportato).

Si può quindi affermare che nel tempo l'inquinamento luminoso pur non diminuendo non pare essere peggiorato: grazie sia all'applicazione della Legge Regionale, che prevede l'adozione di apparecchi con emissione diretta nulla verso l'alto, sia al processo di efficientamento energetico con il passaggio esteso alle sorgenti LED che sono più facilmente controllabili nella dimmerazione notturna.

La situazione indica una evoluzione positiva, anche se rimane assai critica la situazione riguardante gli impianti privati esistenti, spesso molto inquinanti.

2.3 La Brillanza del Cielo rilevata con altre Tecniche Avanzate

Accanto alle misurazioni svolte dalle centraline di monitoraggio sono state sviluppate metodologie che consentono, tramite l'utilizzo di camera fotografica reflex e obiettivo fish-eye, una mappatura di tutto il cielo, consentendo di quantificare l'andamento angolare dell'inquinamento luminoso nell'intero emisfero visibile, di evidenziare le principali provenienze geografiche, e di effettuare confronti con i dati delle centraline che misurano solo in un ristretto angolo solido attorno allo zenith.

Nel tempo tale tecnica ha consentito di confrontare la situazione del cielo in varie località del Veneto, e in particolare presso la sede ARPAV di Padova, confermando altresì la correttezza dei dati forniti dalle centraline.

A titolo di esempio si riportano alcune immagini ottenibili con questa tecnica (fig. 23).

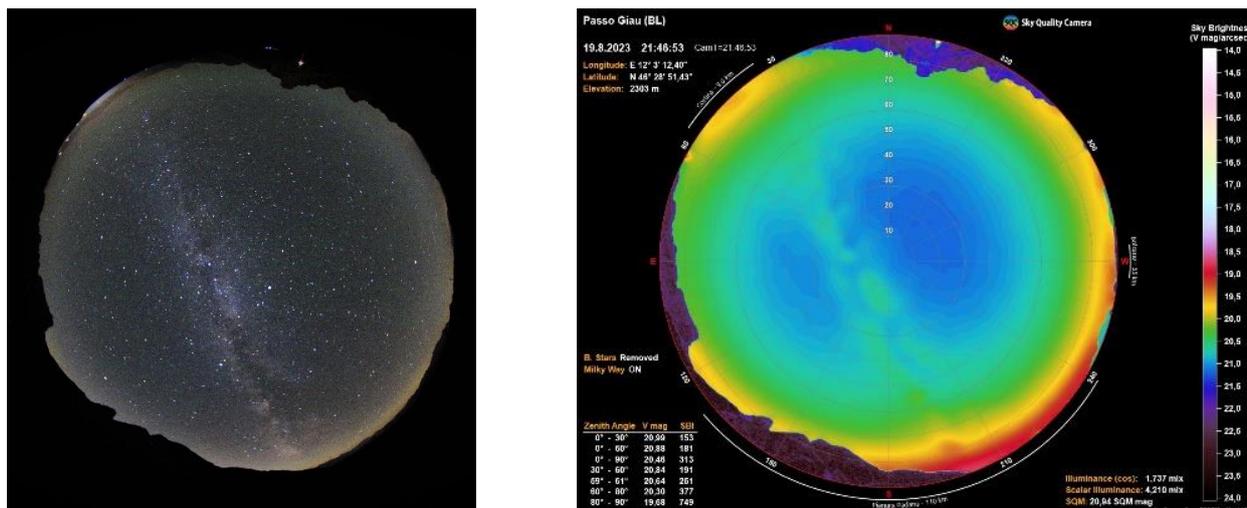


Figura 23: L'emisfero superiore ripreso da Passo Giau, con la mappatura della brillantezza e altri parametri relativi all'inquinamento luminoso misurati.

2.4 Lo Studio del "Colore" delle Sorgenti e del Cielo Notturno

Nell'anno 2021 la rete di monitoraggio regionale dell'inquinamento luminoso si è completata con una strumentazione di elevato valore scientifico: è stato infatti installato presso il terrazzo sommitale della sede ARPAV di Padova il primo spettrometro a media risoluzione espressamente dedicato nel nostro paese allo studio dell'inquinamento luminoso del cielo notturno.

Come indicato nel paragrafo 1.3.1 lo studio del "colore" del cielo notturno (in termini scientifici si parla dello spettro dell'inquinamento luminoso) risulta assai importante dato che gli effetti sulla biosfera (uomo compreso) dipendono anche dalla lunghezza d'onda che viene percepita, e quindi in gran parte dallo spettro dell'inquinamento luminoso, con la maggior influenza dovuta alla componente blu (quella al di sotto dei 500 nm).

Nell'ambito dell'Osservatorio regionale Inquinamento Luminoso la proficua collaborazione con il Dipartimento di Astronomia e di Ingegneria dell'Università di Padova ha portato a progettare e realizzare uno strumento con ottima sensibilità e risoluzione spettrale, che consente di discriminare le caratteristiche delle sorgenti di inquinamento, ad esempio quantificando la componente blu di lunghezza d'onda corta originata dalle sorgenti a LED, che provoca le maggiori alterazioni all'ambiente, provocando anche effetti negativi sull'uomo.

Lo spettrometro è installato in posizione fissa, accanto alla strumentazione che afferisce alla rete di monitoraggio di ARPAV, ma può essere facilmente trasportato per misure puntuali in altri siti di interesse, ad esempio per esaminare i cieli di località montane remote, ultime “oasi” a ridotto inquinamento luminoso.

Lo spettrometro acquisisce lo spettro ogni ora nel corso della notte; l’obiettivo è centrato sullo zenith e copre un’area di circa 27×0.24 gradi. Lo spettrometro è stato calibrato in lunghezza d’onda e flusso presso il laboratorio di Fotometria dell’Università di Padova, e confrontato con lo spettrometro installato presso l’Osservatorio Astronomico di Asiago (VI).



Figura 24: Spettrometro (a destra) accanto ad altri strumenti di monitoraggio del cielo notturno, stazione di Padova - ARPAV

Gli spettri ottenuti vengono ogni notte processati tramite un algoritmo di fitting multi Gaussiano, che permette di quantificare i flussi delle principali linee di emissione, con particolare attenzione a quelle prodotte dalle principali sorgenti artificiali di inquinamento luminoso.

Il software di analisi sviluppato permette inoltre, una volta sottratte le emissioni di picco, di integrare il continuo quantificando il contributo dovuto alle sorgenti LED e a quelle a Sodio ad Alta Pressione.

L’inserimento della notevole mole di dati raccolti nel database utilizzato per la rete di monitoraggio consente di studiare l’evoluzione temporale delle sorgenti artificiali, e di effettuare studi sull’andamento delle poche linee naturali ancora visibili, utili anche per le indicazioni ricavabili sulla variazione dell’estinzione atmosferica presente, che influisce sulla misurazione dell’inquinamento luminoso.

Inoltre durante l’estate 2023 un dottorando colombiano ospite presso il Dipartimento di Astronomia ha condotto con uno spettrometro portatile a bassa risoluzione quasi un centinaio di misure degli spettri emissivi degli apparecchi di illuminazione presenti in un raggio di alcune centinaia di metri attorno alla sede di Arpav: la convoluzione di tali spettri tramite software appositamente realizzato fornisce indicazioni su quanto le differenti sorgenti contribuiscano all’inquinamento luminoso del cielo patavino.

Anche l’utilizzo di banche dati sugli spettri delle sorgenti, disponibili in letteratura, possono ancor meglio indicare quali siano i contributi principali all’inquinamento luminoso.

Nel primo esempio, ad uno spettro reale acquisito durante una notte serena e senza Luna viene sovrapposto nel modo migliore possibile il risultato del modello che parte dalle singole sorgenti di letteratura: in tale modo si può calcolare il contributo di ciascuna sorgente di luce allo spettro complessivo; nel caso di Padova i risultati sono riportati nella tabella seguente:

Tipologia Sorgenti	Contributo percentuale
LED	50
Sodio Alta Pressione	25
Fluorescenza	20
Alogena	9

Tabella 07: Stima dei contributi delle principali sorgenti utilizzate all'inquinamento luminoso a Padova

Nella figura 25 il risultato del fit tra spettro reale e modello, con i singoli contributi delle sorgenti principali (modello da database di letteratura).

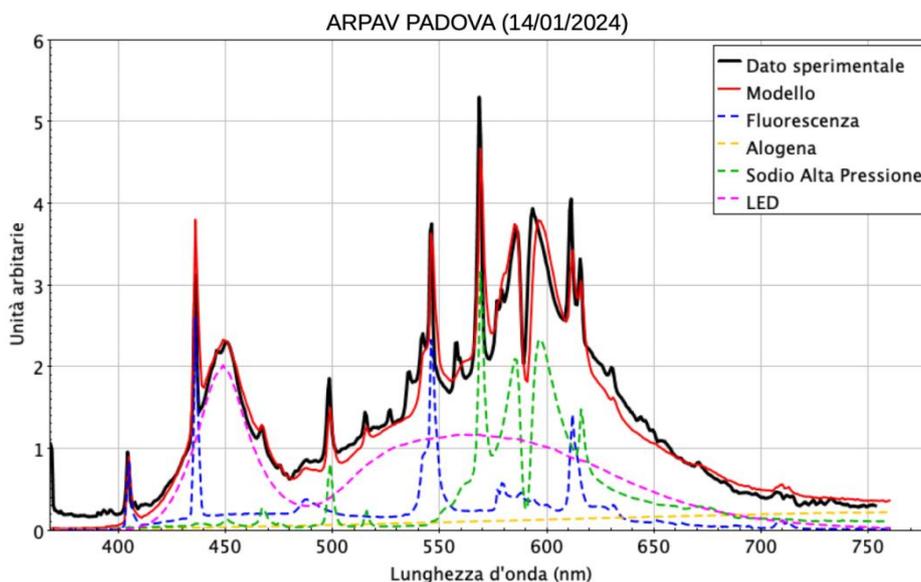


Figura 25: Stazione ARPAV Padova: fit con modello di sorgenti di letteratura dello spettro misurato

Nel secondo esempio è stato effettuato un tentativo a partire dai dati delle sorgenti non più di letteratura ma misurate in campo a Padova, selezionando quelle maggiormente significative.

In figura 26 viene riportata una scheda tipica delle misure effettuate con spettrometro portatile nelle vie cittadine circostanti la sede centrale ARPAV di Padova, con l'ubicazione della sorgente, una fotografia e lo spettro misurato.

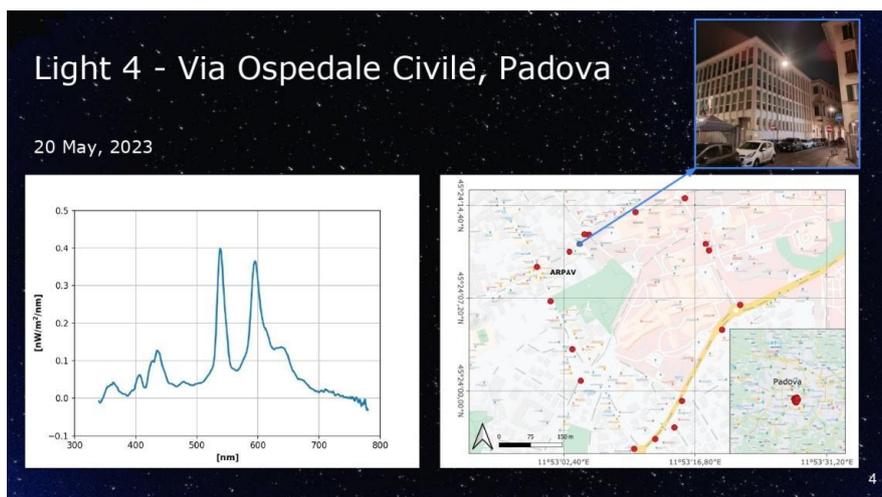


Figura 26: Esempio di scheda con le misure spettrali degli apparecchi di illuminazione

In questo caso il modello non riesce a rispondere bene per tutte le varie tipologie di sorgenti, ma come risulta chiaro dalla figura seguente fornisce un ottimo accordo per quanto riguarda le sorgenti a LED locali, che risultano contribuire per oltre il 50% all'inquinamento luminoso misurato a Padova.

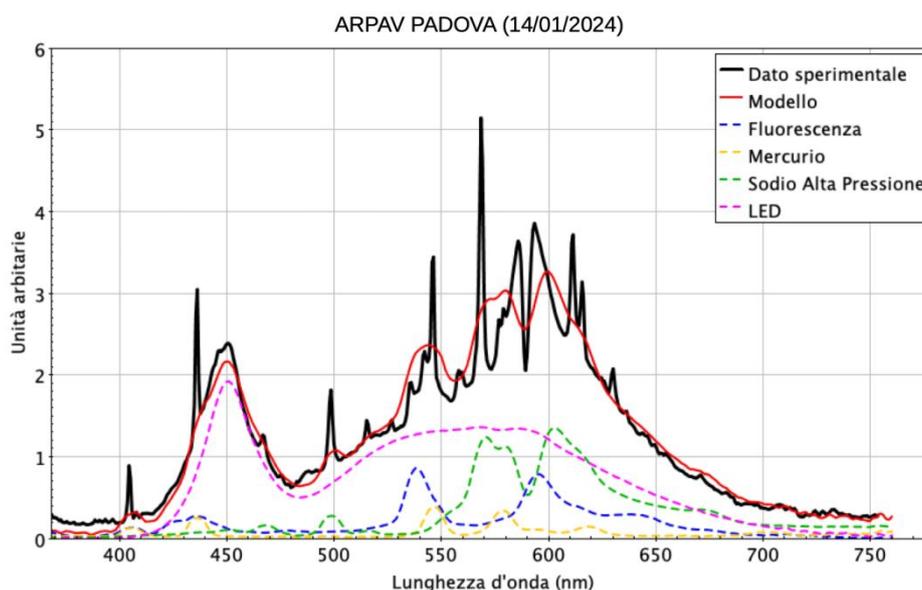


Figura 27: Stazione ARPA Padova: fit dello spettro misurato con alcune sorgenti situate nei dintorni della sede ARPAV

Si può pertanto concludere che con la metodologia adottata si possono determinare i contributi delle varie sorgenti di luce artificiale all'inquinamento luminoso del cielo: le diverse tipologie di sorgente presentano una differente "firma" che è data dal loro spettro.

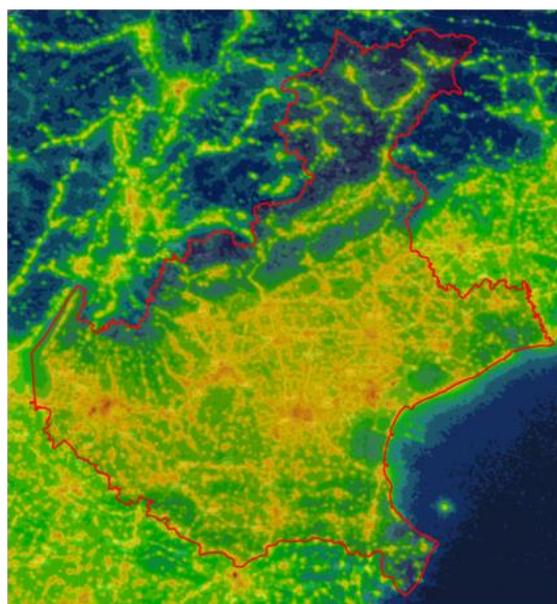
2.5 La Radianza emessa dagli Impianti di Illuminazione rilevata da Satellite

Una tecnica universalmente adottata per quantificare l'andamento nel tempo dell'inquinamento luminoso consiste nell'analisi dei dati satellitari.

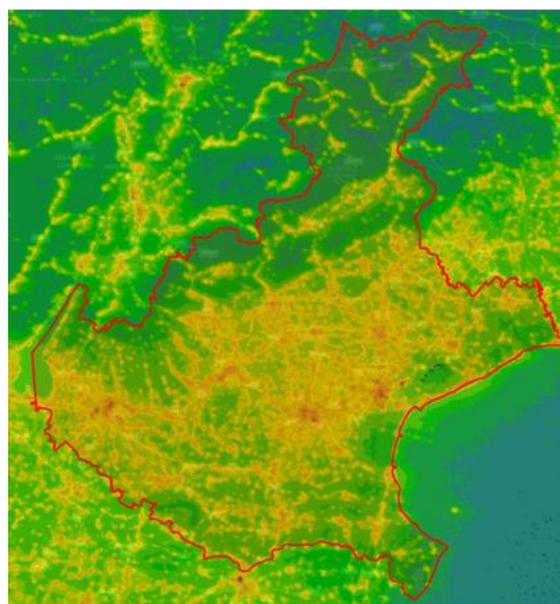
Tramite una 'applicazione sviluppata da Jurij Stare, Ljubljana, <https://lighttrends.lightpollutionmap.info/> , è stata ricostruita quindi la serie temporale della radianza notturna verso l'alto rilevata dal sensore Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS DNB), progettato allo scopo di analizzare l'emissione su scala mondiale, con una risoluzione raggiunta di circa 750 metri per pixel.

Il dato riportato è la media mensile (non tutti i mesi dell'anno sono quantificati: a causa della ridotta lunghezza della notte nei mesi estivi sono omessi i mesi tra aprile e agosto): la serie temporale permette di evidenziare l'andamento della radianza media rilevata dal satellite, indicatore delle emissioni luminose verso l'alto, anche se non in grado di rappresentare completamente l'inquinamento luminoso.

Occorre comunque notare come il dato da satellite presenti alcune problematiche ben discusse in letteratura che lo rendono solamente indicativo: ad esempio viene influenzato dalla presenza di copertura nevosa ove presente, dipende dall'angolo di osservazione del satellite, dalla trasparenza atmosferica e da altri fattori microclimatici e non ultimo la banda passante del sensore a bordo del satellite è meno sensibile a determinate lunghezze d'onda (in particolare risulta quasi insensibile alle lunghezze d'onda al di sotto dei 500 nm, dove si trova il picco blu delle sorgenti a LED).



2014



2021

Figura 28: Radianza da satellite VIIRS DNB per la regione Veneto

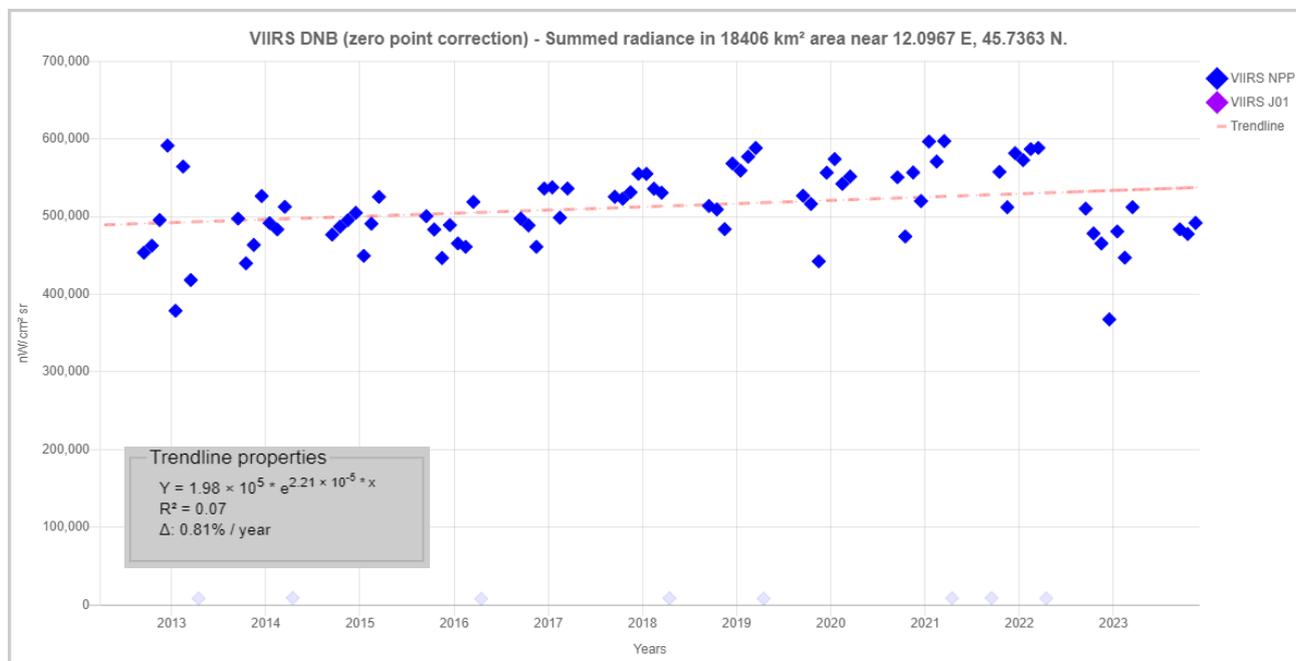


Figura 29: Serie temporale mensile della radianza notturna rilevata dal satellite VIIRS DNB per la regione Veneto

La radianza misurata da satellite risulta in aumento di circa 1% annuo fino al 2022, mentre la decrescita da fine 2022 a oggi è ipotizzabile sia causata anche dalla decisa transizione, già evidenziata dalle misure effettuate da terra con varie tecnologie, verso le sorgenti a LED, che come già sottolineato risultano poco visibili dai sensori satellitari utilizzati.

3 LE ATTIVITA' DI ARPAV SUL TEMA INQUINAMENTO LUMINOSO

Già oltre vent'anni fa nel 2003 l'Agenzia iniziò ad occuparsi del tema inquinamento luminoso realizzando un opuscolo divulgativo, inserito nella Collana " A proposito di...", che presentava gli aspetti peculiari di questa tipologia di inquinante, le sorgenti, i dati disponibili, e la legislazione regionale (giòva ricordare infatti che la Regione Veneto per prima in Italia si è dotata di una Legge Regionale – la n. 22 del 1997 – allo scopo di controllare il fenomeno favorendo la messa a norma degli impianti esistenti e la costruzione di nuovi impianti con minor impatto ambientale ed energetico). In realtà fino all'approvazione della nuova Legge Regionale sul tema, avvenuta nell'agosto 2009, gli interventi di ARPAV sul territorio a supporto dei Comuni risultano sporadici, se ne contano non più di una decina, sollecitati dalle associazioni di tutela del cielo, quali Venetostellato; non è ancora maturata la consapevolezza dell'importanza ambientale ed economica del tema, e risulta poco approfondita la preparazione tecnica degli operatori dell'Agenzia.

Con l'approvazione della Legge Regionale n. 17 del 2009, che prevede un esplicito ruolo di ARPAV, sia nel supporto ai Comuni per i controlli del territorio e le istruttorie, sia come Presidenza dell'Osservatorio permanente sul fenomeno dell'inquinamento luminoso, la consapevolezza cambia e l'Agenzia, in particolare tramite i Dipartimenti provinciali e le Unità di Fisica Ambientale, inizia ad occuparsi della tematica, sviluppando nel corso degli anni una notevole competenza tecnico-scientifica. Attualmente tutta l'attività riguardante la tematica Inquinamento Luminoso è centralizzata presso l'Unità Organizzativa Agenti Fisici area Est, con sede a Padova, con il vantaggio di omogeneità di linee di intervento e migliore gestione delle istruttorie e dei controlli.

Nei paragrafi seguenti si presenta l'attività svolta da ARPAV in particolare dal 2016 ad oggi.

3.1 I Controlli sul Territorio

I controlli sul territorio vengono svolti su richiesta dei Comuni, in seguito ad esposti dell'associazione di tutela del cielo notturno Venetostellato, o in seguito ad esposti di singoli cittadini, che sempre più percepiscono l'inquinamento luminoso come un danno ambientale, ma che ultimamente lamentano in maniera crescente anche l'intrusione di troppa luce all'interno della propria abitazione e/o proprietà.

I controlli in genere sono svolti tramite indagine visiva e fotografica in periodo diurno, usufruendo del fatto che un occhio esperto riesce facilmente ad individuare gli apparecchi con emissione verso l'alto, in genere proiettori male inclinati oppure apparecchi con ottiche inquinanti; alcune indagini, in particolare per determinare i livelli di luce intrusiva o il rispetto delle corrette quantità di illuminamento, richiedono misure strumentali specialistiche, con redazione di rapporti di prova.

Nella tabella seguente viene riportato la stima della numerosità degli impianti controllati nel territorio regionale suddivisi per anno.

Dal 2009 ad oggi l'Agenzia ha controllato più di 10mila impianti di illuminazione. Inoltre grazie alla georeferenziazione di ogni intervento sul territorio effettuato, a partire dal 2021, si è oggi in grado di riportare la distribuzione geografica degli interventi di controllo effettuati: si nota la maggior richiesta di controllo nelle province maggiormente industrializzate.

Anno	Impianti controllati
2016	945
2017	900
2018	840
2019	1155
2020	825
2021	765
2022	810
2023	975

Tabella 08: Controlli ARPAV sul territorio.

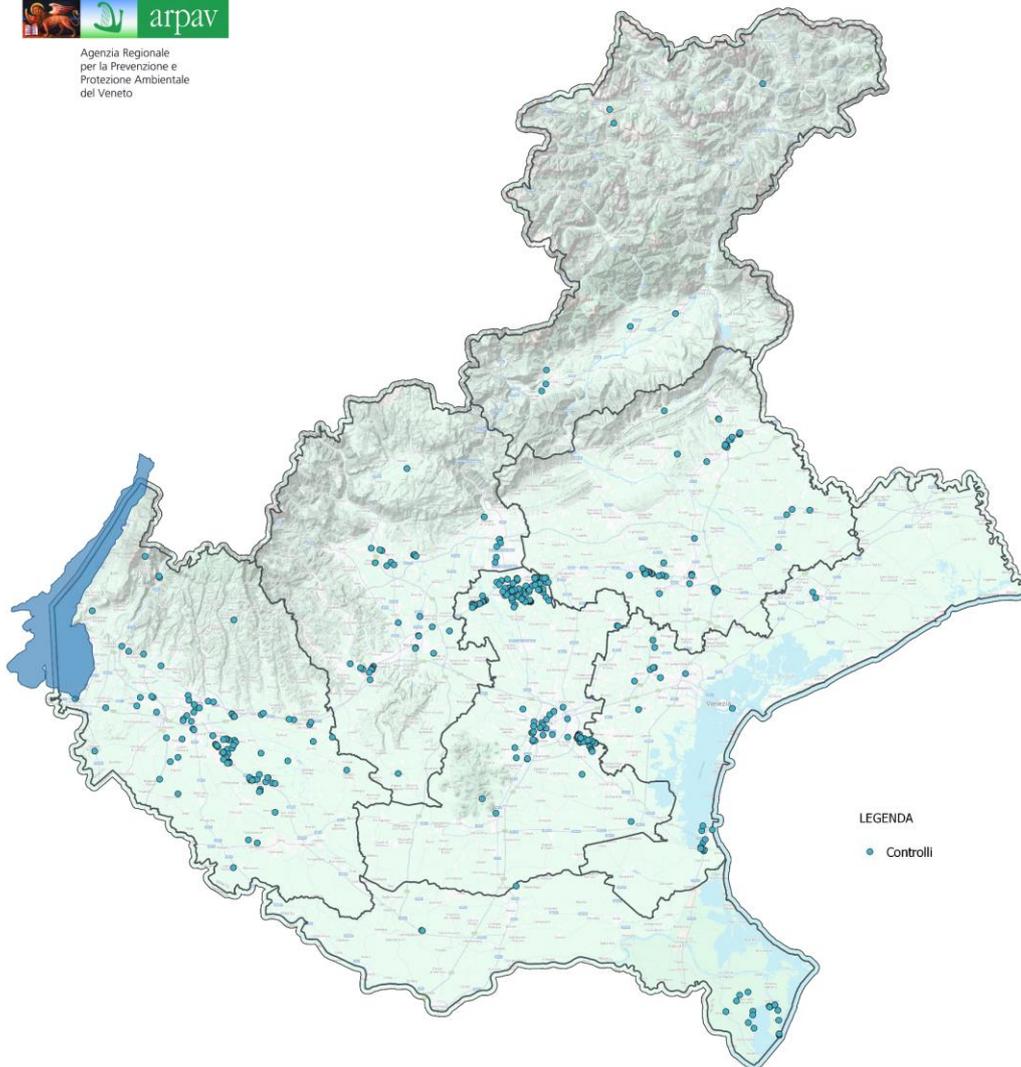


Figura 30: Mappa dei principali impianti controllati da ARPAV negli ultimi anni

3.2 Tecnologie Innovative utilizzate nel Controllo degli Impianti di Illuminazione

In questo paragrafo vengono descritte alcune tecnologie innovative utilizzate negli ultimi anni per svolgere controlli quantitativi sui principali parametri illuminotecnici.

3.2.1 Misurazioni specialistiche con utilizzo di camera di luminanza

Per la misura della luminanza risulta particolarmente utile ed efficace utilizzare accanto ai luminanzometri tradizionali che forniscono la misurazione puntuale della luminanza anche strumenti di nuova concezione quali sono le camere di luminanza.

Si tratta di sistemi che utilizzando una camera digitale CMOS, opportunamente calibrata fotometricamente, consentono di convertire immagini acquisite in formato "raw", a seguito di loro elaborazione mediante software di

analisi dedicato, in immagini in luminanza. Tali camere consentono quindi di catturare molteplici punti di misura contemporaneamente, con indubbi benefici in termini di risparmio di tempo.

Presso ARPAV è in uso lo strumento TECHNOTEAM LMK Mobile Advanced dotato di sensore di misura CANON CMOS APS-C con lente TT 17-50 mm. Per l'elaborazione delle immagini è impiegato il software LMK LabSoft4.

Il sistema viene ampiamente utilizzato per il controllo della conformità ai requisiti della Legge regionale n. 17/09 degli impianti di illuminazione esterna; in particolare viene adoperato per la verifica degli impianti di illuminazione artistico/architettonica, soggetti alle disposizioni individuate all'articolo 9 comma 9 della L.R., e delle insegne e degli impianti pubblicitari a luce propria, sottoposti alle disposizioni di cui all'articolo 9 comma 5.

Si riportano di seguito a titolo di esempio due casi in cui la camera di luminanza è stata utilizzata per la verifica normativa di impianti di illuminazione.

3.2.1.1 Controllo illuminotecnico nuova illuminazione esterna della Specola a Padova

Nell'anno 2017 è stato progettato e realizzato il nuovo impianto di illuminazione esterna della Specola a Padova, tali attività hanno comportato la costituzione di un gruppo di lavoro cui ha partecipato anche ARPAV.

Nel corso delle attività di messa a punto dell'impianto (ottimizzazione puntamento proiettori e regolazione livelli di potenza) eseguite da personale tecnico di iGuzzini SpA, AcegasApsAmga SpA e INAF – Osservatorio Astronomico di Padova, l'Agenzia ha in particolare effettuato alcune misurazioni notturne dei parametri illuminotecnici dell'impianto, per verificarne la conformità alla Legge Regionale n. 17/09.

L'impianto di illuminazione risulta composto da quattro gruppi di proiettori led compatti installati nell'intorno della torre e illuminanti ciascuno un lato della torre, da alcuni proiettori led collocati alla base dell'Osservatorio superiore con fascio luminoso radente alla muratura, da coppie di profili led up-down che retroilluminano le grandi finestre e infine da proiettori led fissati al parapetto della terrazza superiore per l'illuminazione dei cupolini.

Il controllo effettuato da ARPAV mirava a verificare strumentalmente sul campo la richiesta dell'art. 9, comma 9 della L.R., che prevede che l'illuminazione di edifici di interesse storico, architettonico o monumentale, realizzata con sistemi dal basso verso l'alto, produca una luminanza media mantenuta massima sulla superficie da illuminare pari a 1 cd/m^2 o un illuminamento medio fino a 15 lux.

Per questo sono state eseguite alcune misure di luminanza delle superfici della torre illuminata dai proiettori, posizionando la camera di luminanza in diverse posizioni circostanti il manufatto, con il sensore di misura collocato ad una altezza di 1.5 m dal suolo. Tutte le misurazioni svolte hanno fornito valori di luminanza conformi al valore limite normativo.

Nella figura seguente viene riportata a titolo di esempio un'immagine in luminanza elaborata dal software di analisi, con la relativa tabella dei valori misurati.



Figura 31: La Specola.

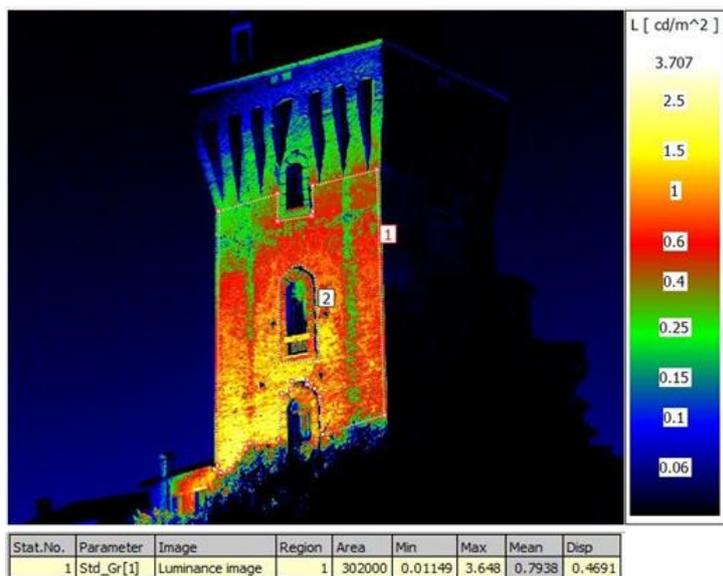


Figura 32: Immagine in luminanza della torre della Specola.

3.2.1.2 Controllo illuminotecnico impianto pubblicitario LEDWALL a Padova

In ambito di controllo istituzionale è stato effettuato nel gennaio 2020 in orario notturno un controllo tecnico strumentale in base alla Legge Regionale n. 17/09 su un impianto pubblicitario a Padova.

L'impianto pubblicitario di tipo LEDWALL risultava posizionato sulla sommità di un edificio, ad una altezza dal piano stradale pari a circa 14 m, e presentava:

- dimensioni pari a 5.76 m di larghezza e 2.88 m di altezza, con superficie totale pari a 16.59 m²;
- massima luminanza pari a 1000 cd/m²;
- flusso luminoso autoregolabile in base ai livelli di luminosità ambientale e dimmerabile tramite programmazione da computer.



Figura 33: Impianto pubblicitario LEDWALL a Padova.

Il controllo effettuato da ARPAV mirava a verificare strumentale sul campo la richiesta dell'art. 9, comma 5 della L.R., che in particolare prevede che "le insegne dotate di luce propria non devono superare i 4500 lumen di flusso totale, emesso in ogni direzione per ogni singolo esercizio".

Poiché il flusso luminoso non risulta misurabile in campo, sono state eseguite misurazioni di luminanza del pannello pubblicitario in esame: il flusso luminoso dell'impianto è stato quindi ricavato a partire dai valori di luminanza media mediante un'opportuna relazione di calcolo.

Le misure di luminanza sono state eseguite posizionando la camera di luminanza in fronte all'impianto pubblicitario e a circa 30 m di distanza dallo stesso, con il sensore di misura collocato ad una altezza di 1.5 m dal suolo. Dal momento che il pannello pubblicitario presentava videomessaggi variabili nel tempo, sono state effettuate misurazioni delle diverse immagini pubblicitarie proposte.

I risultati delle misure effettuate hanno indicato per tutte le immagini acquisite il superamento del limite di flusso previsto e quindi la non conformità dell'impianto pubblicitario LEDWALL nelle condizioni di funzionamento, ne è stato quindi richiesto lo spegnimento fino all'adeguamento dell'emissione luminosa nelle ore di buio ai dettami normativi.

Nella figura a fianco è riportata a titolo di esempio l'immagine in luminanza del LEDWALL risultante dall'elaborazione tramite software di analisi; la tabella dei parametri statistici ottenuti per l'immagine è mostrata in calce all'elaborazione.

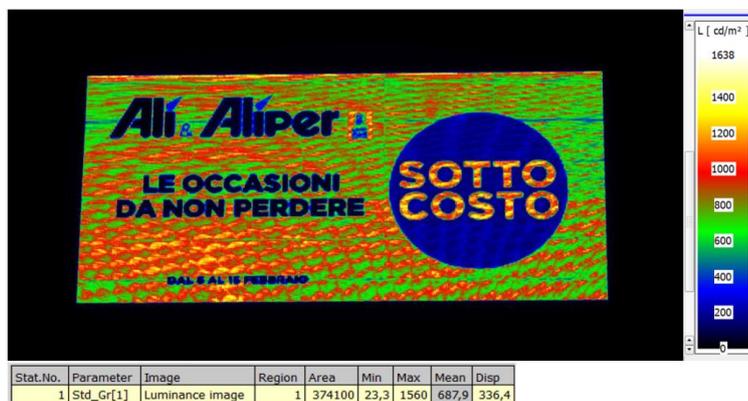


Figura 34: Immagine in luminanza LEDWALL.

3.2.2 L'utilizzo di DRONI per monitoraggi e valutazioni quantitative

Le immagini notturne da drone permettono di individuare con maggior facilità gli impianti inquinanti in quanto emittenti direttamente verso l'alto oppure con flussi luminosi troppo elevati. In particolare la Legge Regionale prescrive, tra le altre cose, che i valori adottati nell'illuminazione esterna siano i minimi previsti dalle norme tecniche UNI.

La misura della luminanza con la classica strumentazione illuminotecnica da terra non è quasi mai semplice anche a causa della difficoltà di poter operare in ambienti trafficati. Con l'ausilio di un drone tale misura risulta molto più agevole, a patto di operare con una fotocamera calibrata allo scopo. ARPA Veneto ha calibrato in laboratorio certificato la fotocamera del drone in dotazione e pertanto possono essere eseguite misure di luminanza, al momento a livello sperimentale: il valore di luminanza misurato dal drone varia a seconda dell'angolo di ripresa e delle caratteristiche di riflessione delle diverse tipologie di superficie indagata (asfalto o altro), pertanto il valore misurato non è automaticamente a priori quello normato come luminanza stradale dalle norme UNI e non può essere direttamente confrontato con esso.

L'utilizzo di un drone con fotocamera calibrata per la misura della luminanza permette comunque già allo stato attuale un controllo mirato, veloce e preciso di tutti quegli impianti sia pubblici che privati, che insistono su di un territorio fortemente interessato da illuminazione notturna spesso non a norma, e che causa un notevole inquinamento luminoso.

Il metodo proposto, già oggetto di test condotti assieme al Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Padova, permetterà sia il controllo dei valori di flusso luminoso installati, spesso del tutto superiori a quelli previsti dalle normative tecniche, sia una quantificazione del flusso luminoso disperso verso il cielo.

Inoltre rilievi da drone a varie altezze, analizzati anche in rapporto ai dati di profondità ottica ottenuti da satellite, permetteranno di approfondire i complessi aspetti che legano l'inquinamento luminoso alla presenza di inquinamento atmosferico e alla sua variabilità con l'altezza.

Il drone utilizzato (DJI Mavic 2 Pro) è equipaggiato con una camera Hasselblad da 20MP, con sensore CMOS da 1" in grado di filmare in 4K e di scattare foto in formato JPEG e RAW, e presenta un FOV di 77° e un'apertura f/2.8–f/11.

Già ora la metodica consente di individuare quasi tutte le situazioni con palese sovrailluminamento a terra.

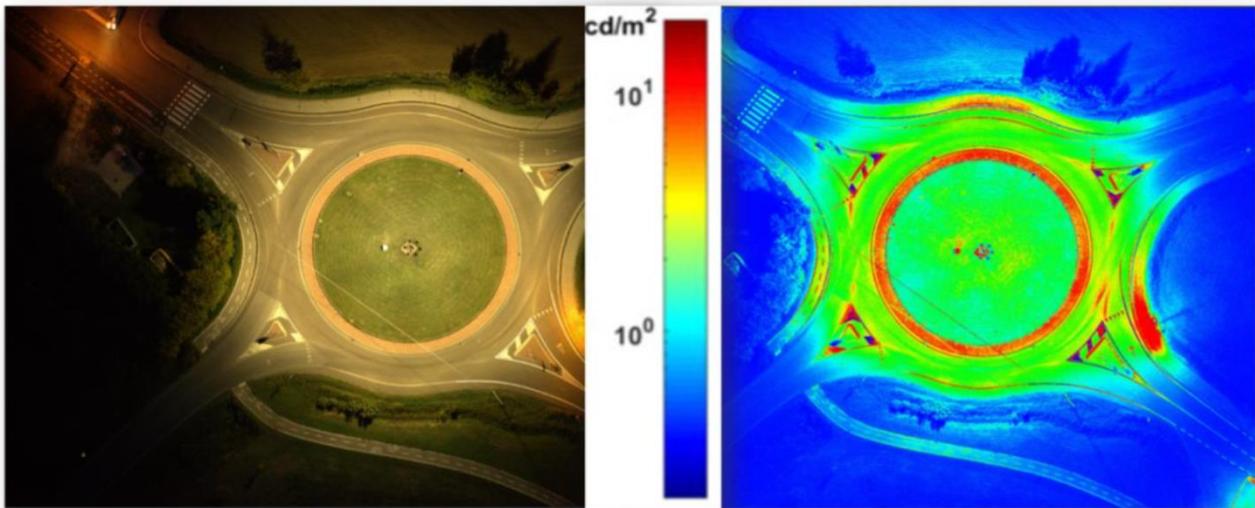


Figura 35: Rotatoria stradale ripresa da 80 metri di altezza, immagine di luminanza

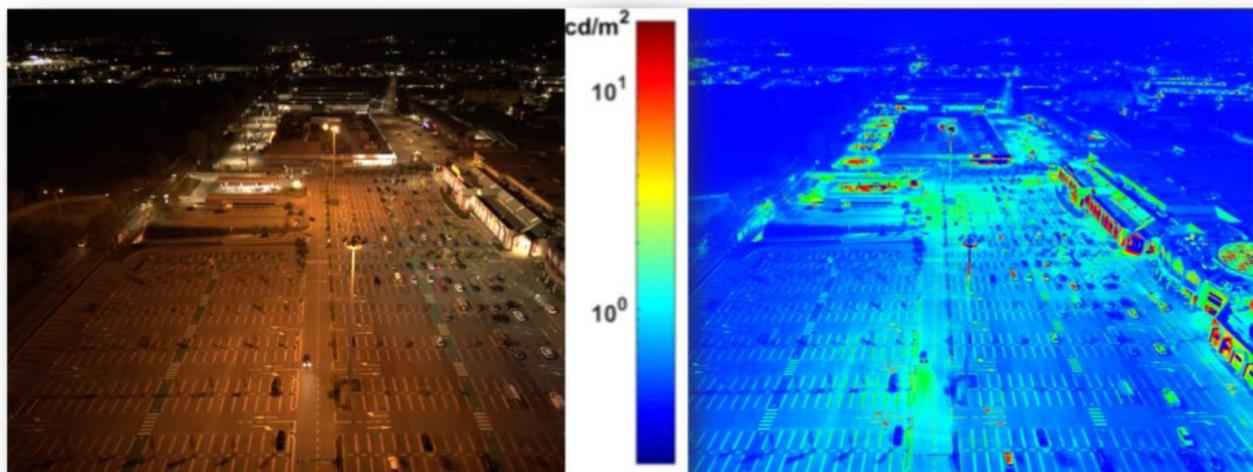


Figura 36: Parcheggio di un centro commerciale, ripresa non nadirale, immagine di luminanza

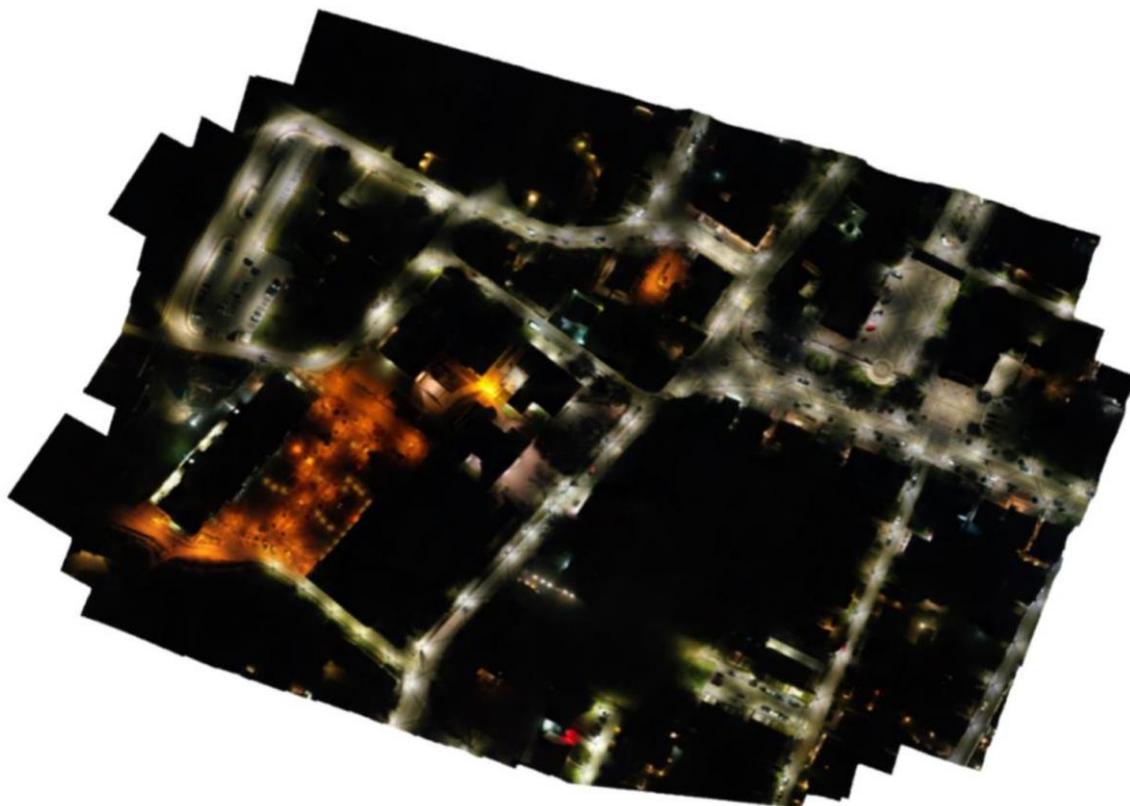


Figura 37: Ortomosaico di un centro urbano ripreso di notte

3.3 le Istruttorie Preventive sui Progetti Illuminotecnici e sui PICIL

Negli ultimi anni ha assunto sempre maggior importanza, anche in una necessaria ottica di prevenzione, l'attività istruttoria sulla progettazione illuminotecnica, che mira a garantire per i nuovi impianti in primis la piena conformità alla legislazione vigente ed alle normative tecniche, ma anche il minor impatto possibile per quanto riguarda l'inquinamento luminoso, coniugato alla riduzione dei consumi energetici e a una elevata qualità dell'illuminazione.

Per rispondere adeguatamente a tale attività istruttoria gli operatori dell'Agenzia hanno dovuto non solo acquisire una profonda conoscenza della legislazione regionale, ma anche approfondire le norme tecniche che sovrintendono la progettazione illuminotecnica degli impianti, in genere norme tecniche nazionali UNI, che hanno portato l'Agenzia ad essere oggi di riferimento anche per i progettisti, in particolare nel supportare la necessaria integrazione tra quanto richiesto dalle norme di buona tecnica ed i dettati della Legge Regionale.

Tale competenza è da anni riconosciuta anche a livello nazionale con la chiamata a far parte della commissione "Luce e illuminazione" dell'ente di normazione nazionale UNI, nell'ambito della quale l'Agenzia è particolarmente attiva nei gruppi di lavoro riguardanti l'illuminazione stradale e l'inquinamento luminoso.

Attualmente la tematica Inquinamento Luminoso è stata inoltre inserita a pieno titolo nelle istruttorie preventive rivolte non solo agli impianti, pubblici e privati, in ambito comunale (dall'illuminazione condominiale fino a quella stradale, ai campi sportivi, alle attività produttive, comprendendo anche il vasto e complesso capitolo delle insegne pubblicitarie di esercizio e dei cartelloni pubblicitari), ma anche agli impianti a servizio di grandi progettazioni a livello sovra comunale sottoposte a procedure di Valutazione d'Impatto Ambientale provinciali e regionali, comprendenti grandi arterie di comunicazione (superstrade, autostrade), grandi opere (ospedali), altre opere di impatto rilevante (porti, aeroporti, terminal di interscambio terrestre e marittimo, impianti per energie rinnovabili): in tutti questi ambiti l'Agenzia è chiamata ad esprimersi sulla progettazione illuminotecnica e sul rispetto dei criteri di contenimento dell'inquinamento luminoso previsti dalla Legge Regionale.

Infine l'azione istruttoria si esplica anche per le grandi opere previste anche nell'ambito PNRR.

Tutto questo pone l'azione dell'Agenzia come trainante sulla tematica all'interno del Sistema Nazionale Protezione Ambiente (SNPA), sia qualitativamente sia quantitativamente.

In figura 38 si riportano la numerosità delle attività istruttorie svolte sul tema negli anni oggetto della presente relazione.

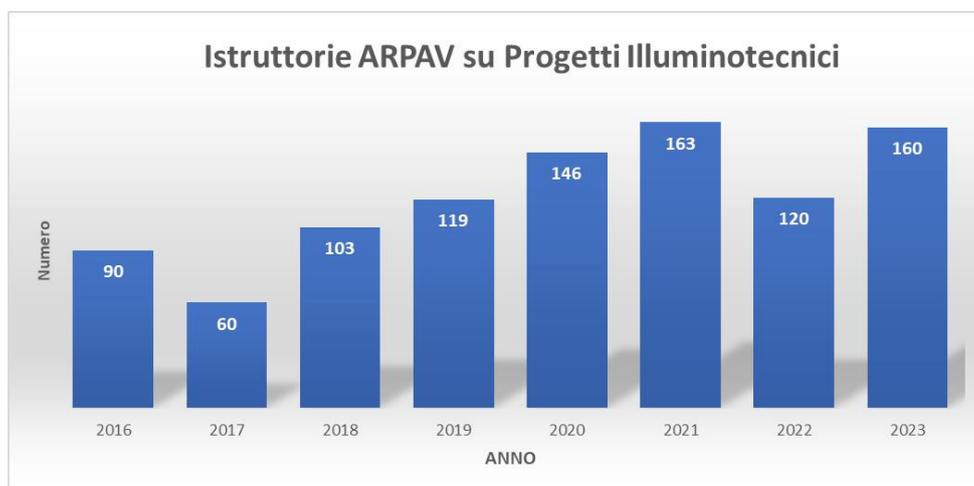


Figura 38: Numero delle attività istruttorie effettuate da ARPAV

Come per i controlli, la georeferenziazione dell'impianto oggetto di istruttoria preventiva consente di ottenere una mappa geografica che illustra come le istruttorie siano diffuse sul territorio.

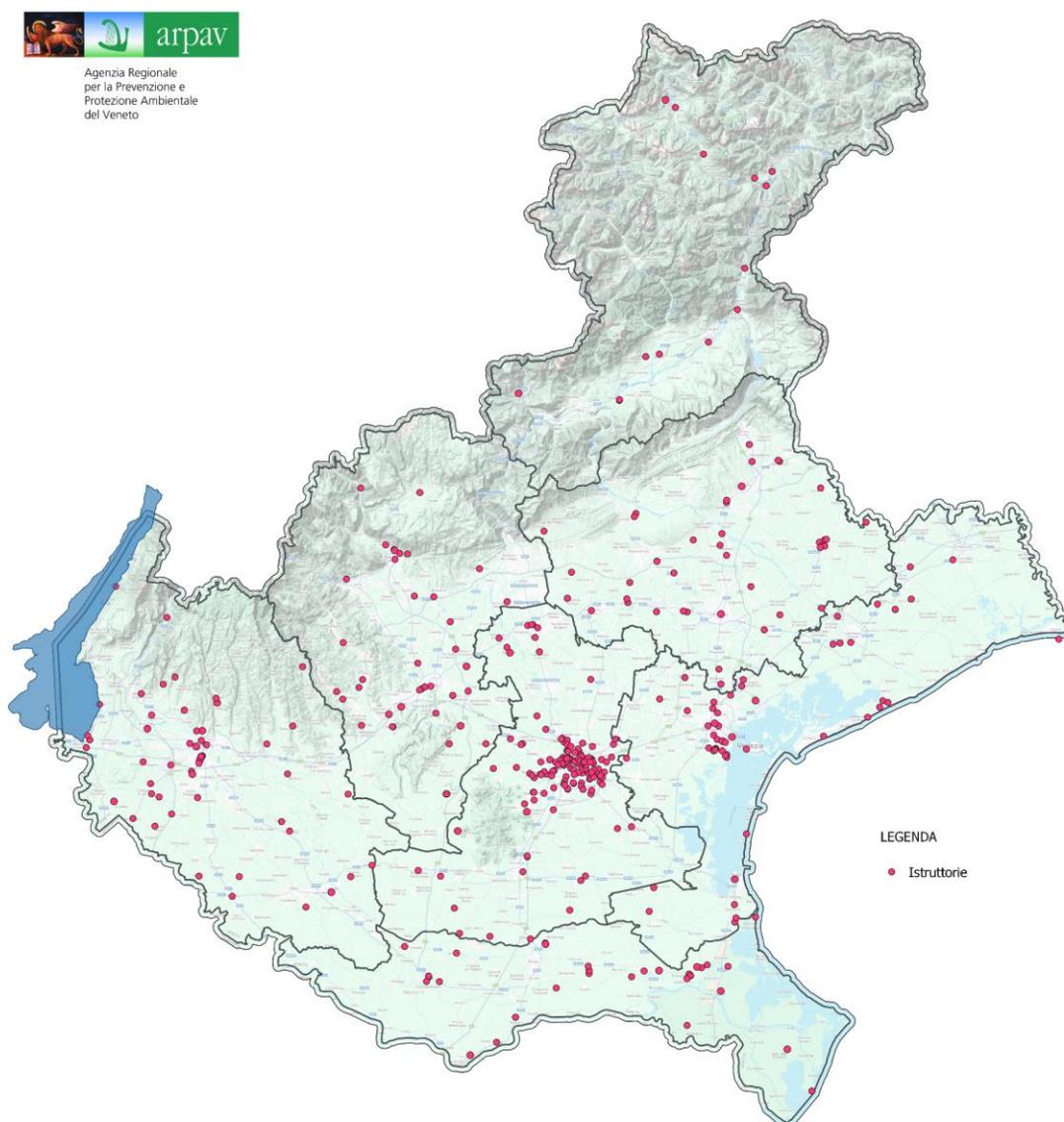


Figura 39: Localizzazione delle istruttorie su nuova progettazione svolte da ARPAV

In particolare si segnalano le istruttorie sulle opere sottoposte a Valutazione d'Impatto Ambientale nazionale e regionale, tra cui negli ultimi anni numerosi impianti fotovoltaici, ma anche opere viarie e infrastrutturali, magazzini di logistica industriale, opere per i grandi eventi (in particolare le Olimpiadi Invernali 2026), in cui l'Agenzia è stata impegnata anche nel fornire indicazioni e linee guida per i progettisti. Un capitolo particolare riguarda le istruttorie svolte sui Piani dell'illuminazione per il contenimento dell'inquinamento luminoso, detti PICIL o anche Piani della Luce. Il dettato legislativo ha affidato infatti all'Osservatorio l'elaborazione di atti di indirizzo e documenti d'informazione per la predisposizione dei PICIL, e pertanto all'interno dell'Osservatorio si è creata una forte competenza in merito, culminata con la stesura delle Linee guida per la predisposizione dei Piani dell'illuminazione per il contenimento dell'inquinamento luminoso di cui alla Legge Regionale 17/09, approvate con Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 1059 del 24 giugno 2014.

Nel corso degli ultimi anni sono stati esaminati circa una ventina di PICIL, in molti casi supportando i tecnici comunali e i professionisti incaricati della stesura.

4 LE INIZIATIVE E GLI STUDI DELL'OSSERVATORIO PERMANENTE

4.1 Studio su Inquinamento Luminoso e Coronavirus

Nell'ambito dell'Osservatorio è stato condotto il primo e tuttora unico studio in Italia sulla tematica, analizzando dal punto di vista dell'inquinamento luminoso la situazione di lockdown attuata nei mesi di marzo e aprile 2020 per fronteggiare l'epidemia di Coronavirus.

Analizzando i dati provenienti dalle centraline fisse di monitoraggio della brillantezza del cielo notturno operanti sul territorio della regione Veneto, e sfruttando anche modelli di simulazione, si è quantificato la riduzione dell'inquinamento luminoso dovuta in particolare alla riduzione dei flussi luminosi notturni emessi dal traffico veicolare e dallo spegnimento dell'illuminazione dei campi sportivi.

Il confronto è stato effettuato confrontando gli andamenti medi delle notti di marzo e aprile 2020 con le analoghe negli stessi mesi di anni precedenti.

Sono state prese in considerazione 4 delle 14 stazioni della rete regionale, scelte tra quelle maggiormente rappresentative geograficamente: Padova, al tempo unica stazione urbana, Nove (VI), stazione periurbana di pianura, Cima Ekar (Gallio-VI), presso l'Osservatorio Astronomico, che risente per almeno il 50% dell'inquinamento luminoso proveniente dalla Pianura, e Passo Valles (Falcade-BL), stazione montana remota situata ad alta quota nelle Dolomiti.

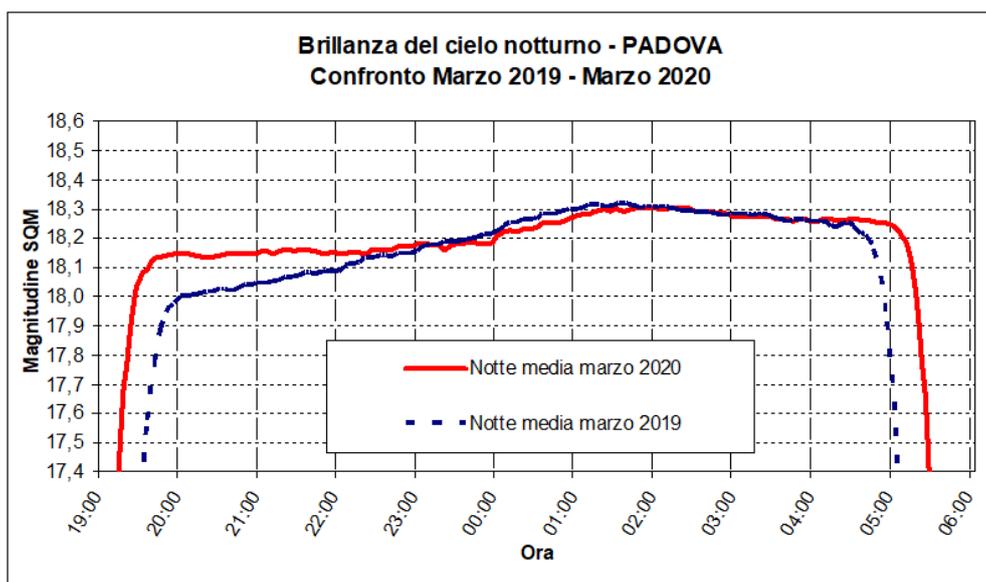


Figura 40: Confronto tra brillantezza in periodo "normale" e in periodo "coronavirus"

L'analisi dei dati ottenuti indica che l'effetto della riduzione del traffico (quantificabile dell'ordine del 75%) e del totale spegnimento degli impianti di illuminazione dei campi sportivi, spesso assai inquinanti, risulta evidente nella prima parte della notte in tutte le stazioni prese in considerazione, e varia dal notevole valore del 20% a Padova e nella pianura, fino al 10% a Cima Ekar (VI), e rimane comunque visibile anche al Passo Valles, con un valore del 5%, pur a notevole distanza dalla pianura.

A partire dai dati relativi agli impianti di illuminazione pubblica ed al traffico (forniti dal Comune di Padova) si è sviluppato un modello di emissione luminosa, separando i vari contributi di luce artificiale alla brillantezza del cielo notturno a Padova.

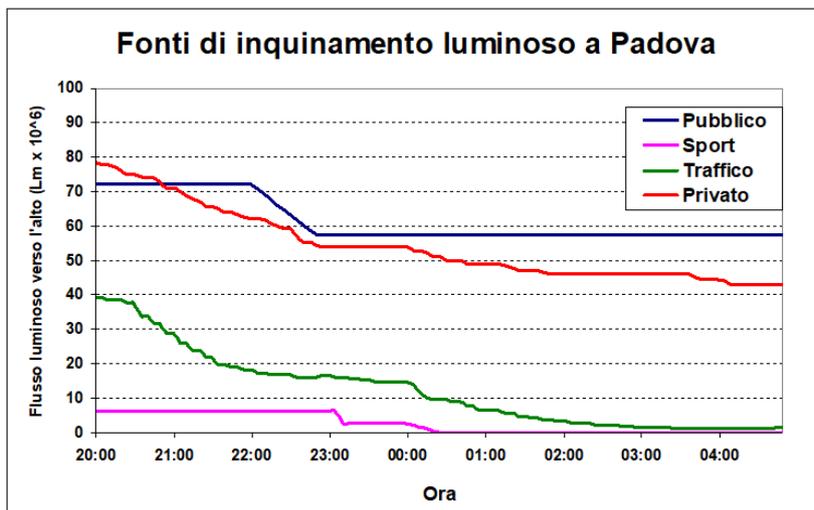


Figura 41: Modello sulle varie sorgenti di emissioni luminose artificiali

Anche l'analisi tramite modello di calcolo conferma i risultati ottenuti, e permette inoltre di valutare il cambiamento di visibilità delle stelle alla riduzione delle fonti di inquinamento luminoso: in particolare ipotizzando una diminuzione del contributo verso l'alto dell'illuminazione pubblica e soprattutto di quella privata pari al 20%, il cielo di Padova potrebbe passare da una magnitudine attuale compresa tra 18.0 e 18.5 a una magnitudine compresa tra 19.0 e 19.5, con un notevole aumento di stelle visibili ad occhio nudo e la possibilità in situazioni meteorologiche favorevoli di visibilità della via Lattea, oltre ad un importante risparmio energetico ed economico.

4.2 Linee Guida per l'utilizzo di Sorgenti di Luce Artificiale

Il sempre maggiore utilizzo delle sorgenti luminose a Led porta da un lato ad una maggiore efficienza energetica, e quindi a parità di flusso luminoso ad un minor consumo, ma causa altresì la maggior presenza nello spettro di luce a bassa lunghezza d'onda, cosiddetta luce blu, che la scienza ha ormai dimostrato essere principale causa di effetti avversi sull'ecosistema, fauna e flora, e anche sull'uomo. Pertanto si è reso necessario, in mancanza di indicazioni in merito nella Legge Regionale a causa dell'inesistenza della problematica quando è stata promulgata, predisporre delle linee guida per la corretta scelta delle sorgenti di luce da adottare a seconda dei vari ambiti da illuminare.

Alla prima edizione delle linee guida predisposte dall'Osservatorio nel 2017 è seguita poi l'edizione del 2022, man mano che l'avanzamento della tecnologia ha permesso di utilizzare con buona efficienza luminosa sorgenti con sempre più ridotta componente blu. Allo stato attuale la gran parte dei nuovi impianti pubblici in Veneto sono realizzati con sorgenti con temperatura di colore non superiore a 3000 K, che hanno una componente blu ridotta; è auspicabile che in futuro si possa adottare sorgenti con ancora minore componente di luce blu, e Temperatura di colore inferiore ai 2700 K.

Sorgenti di luce artificiale

Criteria per la scelta in base agli ambiti da illuminare

La componente di luce blu, presente in particolare nelle sorgenti con elevata temperatura di colore, causa effetti ambientali negativi sia su flora e fauna, sia per quanto riguarda l'inquinamento luminoso del cielo.

Si raccomanda pertanto di utilizzare sorgenti con temperatura di colore la più bassa possibile, sempre nel rispetto della Legge Regionale n. 17/09 e delle norme tecniche di settore.

In particolare si forniscono le seguenti indicazioni:

- **Illuminazione stradale, incroci e rotatorie, piazze e piazzali, parcheggi e parchi urbani, giardini e aree residenziali, piste ciclabili, aree artigianali e industriali, ogni altra tipologia di illuminazione esterna:** utilizzare sorgenti con Temperatura di Colore Correlata (CCT) non superiore a 3000 K, privilegiando ove possibile CCT inferiori.

Possono essere utilizzate sorgenti con CCT superiore a 3000 K solo in casi particolari di illuminazione di tipo industriale o sportiva, comunque in situazioni con esigenze documentate.

- **Zone di particolare tutela:** utilizzare sorgenti con CCT non superiore a 2200 K.

4.3 Linee Guida per il Risparmio Energetico nella Pubblica Illuminazione

A causa dei forti rincari del costo dell'energia nell'anno 2021-2022 molti Comuni, anche nella nostra Regione, sono stati costretti a mettere in atto interventi per ridurre le bollette della pubblica illuminazione. D'altra parte la pubblica illuminazione rimane spesso accesa a pieno regime anche nelle ore di fruizione pressoché inesistente, e pertanto sono cospicui i margini di interventi di risparmio.

L'Osservatorio ha quindi ritenuto opportuno elaborare delle Linee Guida per supportare i Comuni nel programmare gli spegnimenti e nel contempo garantire la sicurezza della circolazione stradale, tenendo conto della Legge Regionale e delle norme tecniche UNI vigenti che regolano l'illuminazione. Le Linee Guida sono state inviate a tutti i Comuni del Veneto nel novembre 2022; dalle informazioni ricevute sono numerosi i Comuni che hanno adottato riduzioni di flusso e/o spegnimenti programmati, conseguendo un certo risparmio energetico ed economico, senza pregiudicare la sicurezza stradale e contribuendo al contenimento dell'inquinamento luminoso, su scala locale e non.

Linee guida per il risparmio energetico nella pubblica illuminazione

Il documento si propone come ausilio ai Comuni nelle scelte finalizzate al risparmio energetico nella pubblica illuminazione, tenendo conto della legislazione regionale e nazionale e delle norme tecniche di settore, attraverso la ricalibrazione di accensioni e spegnimenti degli impianti e/o attraverso la ricalibrazione della regolazione dei flussi luminosi.

Il risparmio energetico nella gestione degli impianti di illuminazione può essere ottenuto attraverso:

1. Ricalibrazione di accensioni e spegnimenti.
2. Ricalibrazione della regolazione del flusso luminoso.

1. La soluzione di minore impatto sociale, di più facile attuazione tecnica e di costo limitato è l'anticipo dello spegnimento rispetto a quanto attualmente in uso.

In impianti di illuminazione dotati di orologio astronomico, o sistema di regolazione telecomandato punto a punto o da quadro elettrico, impostare una regolazione che mantenga spento l'intero impianto di illuminazione preferibilmente nella parte centrale della notte (per almeno 3-4 ore) oppure per un periodo antecedente l'alba (per almeno 2-3 ore).

2. In impianti di illuminazione dotati di sistemi di regolazione di flusso luminoso programmabile (ad esempio centralizzato o telecomandato punto a punto) impostare la riduzione del flusso luminoso anche prima delle ore 24 indicate dalla Legge Regionale n. 17/09, ove non siano presenti situazioni di conflitto (incroci particolarmente delicati, svincoli a più livelli,...) o di elevato traffico veicolare (rif. UNI11248:2016).

Per la grande maggioranza delle strade, di categoria illuminotecnica M5 secondo le norme tecniche di settore, la riduzione può essere regolata fino al 40% a partire dalle ore 21-22.

AVVERTENZE

- ✓ La legislazione nazionale vigente non obbliga ad illuminare, a meno che non si tratti di particolari categorie di svincoli stradali (rif. Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 19 aprile 2006 – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali).
- ✓ La legislazione regionale prevede la riduzione di flusso luminoso obbligatoria in orario notturno per gli impianti di illuminazione stradale (Legge Regionale n. 17/09).
- ✓ La legislazione regionale già prevede lo spegnimento o la riduzione della potenza pari almeno al 30% in orario notturno nell'illuminazione di edifici e monumenti (Legge Regionale n. 17/09).
- ✓ Le norme tecniche di settore (in particolare UNI 11248:2016 e UNI 13201: 2016) non permettono più lo spegnimento alternato (cosiddetto regime tutta notte-mezzanotte): è possibile utilizzare l'orologio installato nel quadro per effettuare lo spegnimento dell'intero impianto ad un'ora stabilita.
- ✓ Non è consigliabile ridurre l'illuminazione nelle ore di maggior traffico e di compresenza di diverse categorie di utenti della strada (veicoli, biciclette, pedoni,...).

A cura dell'Osservatorio Permanente sull'Inquinamento Luminoso

Novembre 2022

4.4 Linee Guida per la Progettazione Illuminotecnica di Stazioni e Sottostazioni Elettriche

Tra gli impianti con notevole impatto sull'inquinamento luminoso vi sono stazioni e sottostazioni elettriche, anche per gli elevati flussi utilizzati e la localizzazione spesso remota; a seguito del confronto con i progettisti nelle istruttorie per alcune stazioni di nuova realizzazione si è valutato opportuno fornire delle linee guida per regolamentare l'illuminazione, spesso utilizzata senza un reale scopo di sicurezza lavorativa.

Le linee guida sono state oggetto di stesura nel corso degli ultimi mesi del 2023, riviste e approvate recentemente dall'Osservatorio; verranno pubblicate sul sito dell'Agencia e trasmesse ai principali operatori del settore.



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto



Systema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente



REGIONE DEL VENETO

Linee guida per progettazione illuminotecnica Stazioni e sottostazioni elettriche (L.R. 17/09)

- ❖ Utilizzare apparecchi con emissione nulla verso l'alto nella posizione di installazione (art. 9, comma 2, lettera a).
- ❖ Utilizzare sorgenti con Tcolore massima pari a 3000 K, come da linee guida ARPAV.
- ❖ Gli illuminamenti medi mantenuti non dovranno essere superiori, entro le tolleranze (dell'ordine del 15%), a quelli minimi previsti dalle norme di sicurezza specifiche UNI per le categorie/riferimenti illuminotecnici selezionati (art. 9, comma 2, lettera c).

In particolare:

- Normale servizio: nelle zone di lavoro che richiedono particolare attenzione livello di illuminamento medio mantenuto non superiore a 10 lux.
- Servizio supplementare di manutenzione o interventi urgenti, da attivarsi occasionalmente e solo per operazioni di alta priorità e/o emergenza: livello di illuminamento medio mantenuto pari a 50 lux (come da norma UNI EN 12462-2:2014, prospetto 5.11), eventualmente conseguibile anche mediante punti di illuminazione mobili.

- ❖ Nessuna riduzione di flusso prevista per il normale servizio (livello di illuminamento medio mantenuto non superiore a 10 lux), il livello di servizio supplementare dovrà essere comandato da interruttori manuali.
- ❖ In caso di possibili problematiche di inquinamento ottico per abitazioni nelle vicinanze, verifica effettuata secondo il metodo di valutazione indicato al punto 4.6 della norma UNI 10819:2021, con fattore di manutenzione pari a 1,00 e avendo presente che il parametro di riferimento è l'illuminamento massimo.
I valori limite da considerare sono quelli del Technical Report CIE 150:2017 e della Norma UNI EN 12464-2:2014.

A cura dell'Osservatorio Permanente sull'Inquinamento Luminoso

Giugno 2024

4.5 Progetto SkyScape

Il progetto Europeo Skyscape (SKYSCAPE - Astronomical Tourism: The Beauty of the Sky as a Resource for Territories) è un progetto Interreg V-A Italia - Austria 2014-2020, svoltosi operativamente negli anni 2018-2022, con comune capofila Asiago (VI) e come partner i comuni di Cornedo all'Adige (Bz) e Talmassons (Ud), oltre a partner austriaci, con l'obiettivo di sviluppare l'astroturismo, dando la possibilità di riscoprire la bellezza e il fascino del cielo stellato, e nel contempo contenere l'inquinamento luminoso, sensibilizzando cittadine e amministratore sulle azioni necessarie a tale fine.

ARPAV è stata coinvolta nel progetto come supporto al Comune di Asiago nell'ambito di un gruppo di consultazione tecnico-scientifico composto da scienziati dell'Osservatorio Astronomico locale, il più importante sul territorio italiano: in particolare sono stati messi a disposizione del progetto i dati delle misurazioni di inquinamento luminoso sul territorio veneto, sia tramite centraline di monitoraggio sia tramite misure puntuali, al fine di individuare le posizioni migliori per attrezzare alcune piazzole osservative del cielo notturno a disposizione di cittadini e astrofili; inoltre l'Agenzia ha condotto assieme ai colleghi dell'Osservatorio interventi divulgativi sulla tematica, oltre a fornire supporto per orientare la stesura del Piano Comunale per il Contenimento dell'Inquinamento Luminoso (PICIL) del Comune di Asiago (VI).

Nell'ambito del progetto è stato realizzato nell'anno 2022 Dark Skies, la prima edizione del Festival Astronomia Asiago incentrata proprio sulle tematiche del cielo buio e dell'inquinamento luminoso.

Tra i principali risultati del progetto la realizzazione da parte del Comune di Asiago di due aree attrezzate per l'osservazione del cielo, situate al museo dell'Acqua in località Kaberlaba e presso Malga Dosso di Sopra in località Larici/Val Formica: ARPAV ha svolto alcune misurazioni dell'inquinamento luminoso in sito utili per individuare le postazioni.



Figura 42: Cielo a Malga Dosso di Sopra (Asiago- VI)



Figura 43: Installazione a Malga Dosso di Sopra (Asiago- VI)

4.6 Il Contributo dell'Associazione Venetostellato

Come coordinamento delle associazioni astronomiche e degli osservatori pubblici, Venetostellato rappresenta gli interessi collettivi delle stesse e dei cittadini residenti della Regione che vi si rivolgono sempre più spesso per segnalare impianti di illuminazione che non rispettano i criteri della LR 17/09.

Attraverso le attività della rete di associazioni ed osservatori, ma anche attraverso intervento diretto nell'ambito di eventi per la diffusione della cultura astronomica e ambientale, e di seminari tecnici rivolti a scuole, cittadini e professionisti, Venetostellato prosegue la sua attività di divulgazione sulle problematiche dell'inquinamento luminoso.

Inoltre, Venetostellato collabora ed interagisce con le istituzioni, in primis i Comuni, ai quali la legge attribuisce il compito di applicare la legge adottando sistemi di illuminazione pubblica adeguati ed intervenendo sugli impianti privati con provvedimenti specifici.

Nel periodo compreso fra il 2015 e il 2022 l'associazione ha inviato 163 segnalazioni per un totale di più di 1200 impianti.

Nel corso del 2023 sono state notificate ai Comuni del territorio regionale segnalazioni per un totale di 172 impianti così suddivisi per province: Vicenza 35, Padova 69, Verona 14, Venezia 18, Rovigo 18, Treviso 6, Belluno 2.

Venetostellato prosegue inoltre l'attività di finanziamento e gestione della rete di stazioni per la misura della qualità del cielo notturno localizzate presso gli osservatori delle associazioni amatoriali della regione del Veneto.

Nel corso del 2023 è stata implementata una nuova stazione presso l'osservatorio pubblico "G. Beltrame" di Arcugnano (VI), gestito dal Gruppo Astrofili Vicentini "G. Abetti" (coord. 45.49733698702758, 11.53476970945197).

I dati registrati dagli strumenti della rete di Venetostellato confluiscono su una piattaforma web condivisa con ARPAV che raccoglie ed elabora le informazioni di tutte le stazioni operanti nel territorio incluse quelle delle istituzioni di ricerca e della stessa ARPAV.

4.7 Il Contributo degli Enti Gestori delle Aree Naturali Protette

Al fine di perseguire le finalità individuate dalla L.R. 7 agosto 2009 n. 17 e dalla D.G.R.V. n. 1723 del 09.12.2021, il rappresentante designato congiuntamente dagli Enti gestori delle aree naturali protette del Veneto nominato in seno all'Osservatorio permanente si farà promotore presso gli Enti Parco stessi e la competente Direzione regionale Parchi e Biodiversità della Direzione Turismo dell'installazione in ogni Parco regionale di una propria centralina di monitoraggio della stessa tipologia di quelle della rete regionale, gestita direttamente dall'Ente Parco e che integri i dispositivi già in funzione al fine di rendere maggiormente efficace il monitoraggio del proprio areale e dei territori tutelati dagli Enti gestori dei Parchi del Veneto.

Tale necessità è già in corso di valutazione da parte del Parco della Lessinia, che in ragione della propria orografia ed estensione necessita in una maggiore copertura nell'area occidentale del Parco.

La possibilità di installare nuove stazioni di monitoraggio all'interno delle Aree Protette regionali potrà contribuire fattivamente, con le informazioni e i dati di nuova raccolta, alla redazione dei documenti di informazione per la predisposizione dei Piani dell'illuminazione per il contenimento luminoso da parte dei Comuni del comprensorio di riferimento, al fine di aumentare la sensibilizzazione pubblica relativamente ai temi dell'inquinamento luminoso e del risparmio energetico, e in generale promuovere in modo coordinato una serie di azioni comuni per i Parchi regionali rispettose degli equilibri ecologici degli ambienti naturali.

5 LA LEGGE REGIONALE 17/09 A 15 ANNI DALL'EMANAZIONE

Dopo quasi 15 anni dall'emanazione la Legge Regionale 17/09, allora all'avanguardia sia per i contenuti tecnici sia normativi, oggi evidenzia un impianto di base ancora efficace, con alcuni aspetti da modificare tenendo conto delle novità tecnologiche intervenute.

Si segnalano in particolare alcune tematiche emergenti e le riflessioni, maturate con l'esperienza, che si ritengono interessanti in merito:

- ✚ la problematica ambientale e di salute legata alla componente blu dello spettro delle nuove sorgenti a LED non viene considerata nella Legge, anche se l'Osservatorio ha emanato linee guida specifiche, disponibili dal 2017 e aggiornate nel 2022 (si veda il paragrafo 4.2);
- ✚ la tecnologia e le norme tecniche oggi consentono regimi di funzionamento innovativi degli impianti di illuminazione, non previsti dalla LR (ad esempio l'illuminazione adattiva, secondo la UNI 11248-2016): l'Osservatorio ha emanato anche a tal proposito delle linee guida specifiche (si veda il paragrafo 4.3);
- ✚ il dettato legislativo è risultato negli anni efficace per quanto riguarda gli impianti pubblici e per quelli privati di grande dimensione, sottoposti a valutazione di impatto ambientale regionale e provinciale, ma non risulta altrettanto efficace nei confronti degli impianti privati di piccole-medie dimensioni, che sono numerosissimi, e che nonostante gli sforzi fatti non vengono quasi mai progettati e autorizzati, ma semplicemente installati, spesso in difformità alla LR, senza alcuna dichiarazione di conformità; il privato è oggi la principale fonte di inquinamento luminoso nel Veneto;
- ✚ l'analisi dei questionari rivolti alle amministrazioni comunali a cadenze regolari a partire dall'anno 2010 indica come vi sia una migliorata applicazione della Legge Regionale, in particolare per quanto riguarda la redazione dei Piani Comunali per il Contenimento dell'Inquinamento Luminoso, ma rimanga ancora carente l'azione di controllo degli impianti privati, sia per quelli esistenti ma anche per quelli di nuova realizzazione;
- ✚ le norme tecniche nazionali sono evolute negli anni, e in particolare la norma UNI 10819-2021 sulla valutazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso fornisce un quadro di riferimento da tenere in considerazione;
- ✚ il meccanismo di controllo degli impianti privati non sempre risulta efficace ed efficiente, ed è condizionato dalla volontà/capacità dei singoli Comuni;
- ✚ la formazione e l'aggiornamento professionale per tecnici del settore richiederebbe un'azione costante e capillare, fino ad ora mancante;
- ✚ la LR fornisce criteri per la realizzazione degli impianti di illuminazione ma lo sviluppo di nuovi impianti risulta regolamentato solo per quelli pubblici e con modalità sostanzialmente inapplicabile, causando l'aumento costante di punti luce sia pubblici ma soprattutto privati, con un impatto crescente sull'inquinamento luminoso, pur mitigato dalla diminuzione della componente di luce emessa direttamente verso l'alto;
- ✚ le deroghe previste dalla LR non sono sempre coerenti nell'articolato legislativo.

6 CONCLUSIONI

- L'Inquinamento Luminoso è accertato scientificamente essere causa non solo di perdita di visione del cielo stellato, ma anche di notevoli danni alla biosfera, che coinvolgono molte specie di flora e fauna, con decisa perdita di biodiversità.
- Anche per quanto riguarda la salute umana appare dimostrata l'alterazione che l'illuminazione artificiale provoca ai ritmi circadiani, che sottostanno a possibili alterazioni e malattie, in particolare a causa della radiazione a corta lunghezza d'onda (blu), dello spettro visibile.
- L'andamento negli anni dell'Inquinamento Luminoso in Veneto è stato studiato sia attraverso l'estesa rete di monitoraggio realizzata sul territorio sia attraverso lo studio dello spettro del cielo notturno: i risultati indicano una sostanziale costanza dell'inquinamento artificiale nell'ultimo decennio, in cui a fronte di un aumento dei punti luce e dei flussi luminosi installati vi è una diminuzione dell'emissione diretta verso l'alto e una migliore gestione delle riduzioni della luce nelle ore notturne, almeno per gli impianti di pubblica illuminazione.
- Risultano invece ancora molto inquinanti gli impianti privati, quasi mai soggetti alla sistemazione prevista dalla Legge Regionale e ancora oggi spesso non progettati e realizzati adeguatamente.
- L'analisi dei questionari per i Comuni, proposti da ARPAV con regolarità da oltre un decennio, conferma l'aumento di punti luce per pubblica illuminazione ma anche una decisa riduzione dei consumi, con notevoli risparmi economici.
- ARPAV da oltre venti anni si occupa attivamente della tematica, con controlli sul territorio anche su sollecitazione di associazioni di tutela del cielo e dei cittadini, sempre maggiormente consapevoli che la luce artificiale è fonte di inquinamento se male utilizzata e indirizzata; notevole impegno riveste inoltre l'attività preventiva sui progetti impiantistici, dalle grandi opere pubbliche e private fino all'illuminazione residenziale. Sicuramente l'Agenzia e l'Osservatorio costituiscono un polo di eccellenza nel panorama delle regioni italiane, anche nella produzione di linee guida per i progettisti e la pubblica amministrazione, oltre che per le ricerche scientifiche svolte, di cui sono riportate nel presente rapporto alcuni esempi significativi.
- Infine vengono suggerite alcune riflessioni sulla Legge Regionale 17/09, che possono aiutare il legislatore a esaminare la complessa materia, nell'attesa di una legge quadro nazionale che possa estendere l'azione veneta del sistema Regione/Agenzia anche alle altre Regioni, tenendo conto che l'Inquinamento Luminoso non è fenomeno locale ma esteso a gran parte del territorio nazionale.

7 BIBLIOGRAFIA

Viene riportata di seguito una sommaria bibliografia, in particolare gli articoli pubblicati dal gruppo di lavoro costituito dai membri dell'Osservatorio Inquinamento Luminoso, oltre ad altra letteratura significativa.

- P. Fiorentin, C. Bettanini, E. Lorenzini, A. Aboudan, G. Colombatti, S. Ortolani, A. Bertolo
"MINLU: an instrumental suite for monitoring light pollution from drones or airballons"
Proceedings of 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace – Rome – 20-22 June 2018, pp. 274-278
- ISBN 978-1-5386-2473-9

- A. Bertolo, R. Binotto, S. Ortolani, S. Sapienza
"Measurements of Night Sky Brightness in the Veneto Region of Italy: Sky Quality Meter Network Results and Differential Photometry y Digital Single Lens Reflex" - J. Imaging 2019, 5, 56; doi:10.3390//jimaging5050056

- A. Simoneau, M. Aubé, A. Bertolo
"Multispectral analysis of the night brightness and its origin for the Asiago Observatory, Italy"
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 491, 4398-4405 (2020)

- S. Cavazzani, S. Ortolani, A. Bertolo, R. Binotto, P. Fiorentin, G. Carraro, I. Saviane and V. Zitelli
"Sky Quality Meter and satellite correlation for night cloud-cover analysis at astronomical sites"
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 493, 2463-4471 (2020)

- J. Birriel, K. Adkins, A. Bertolo, R. Ehlert, M. McKeag, S.J. Ribas, A. Tekatch
"A Gallery of Sky Brightness Curves from the January 2019 Total Lunar Eclipse"
Journal of American Association of Variable Star Observers Volume 48 n. 1 (2020)

- P. Fiorentin, A. Bertolo, S. Cavazzani, S. Ortolani "Calibration of digital compact cameras for sky quality measures"
J. Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 255 (2020) 107235;doi:10.1016/j.jqsrt.2020.107235

- P. Fiorentin, S. Cavazzani, S. Ortolani, A. Bertolo and R. Binotto
"Instrument assessment and atmospheric phenomena in relation to the night sky brightness time series"
Measurement 191 (2022) 110823 <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110823>

- S. Cavazzani, S. Ortolani, A. Bertolo, R. Binotto, P. Fiorentin, G. Carraro and V. Zitelli
"Satellite measurements of Artificial Light at Night: aerosol effects"
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society

- P. Fiorentin, R. Binotto, S. Cavazzani, A. Bertolo, S. Ortolani and I. Saviane "Long-Time Trends in Night Sky Brightness and Ageing of SQM Radiometers"
Remote Sens. 2022, 14, 5787. <https://doi.org/10.3390/rs14225787>

- S. Cavazzani, P. Fiorentin, C. Bettanini, M. Bartolomei, C. Bertolin, S. Ortolani, A. Bertolo, R. Binotto, L. Olivieri, A. Aboudan and G. Colombatti " Launch of a sounding balloon for horizontal and vertical modelling of ALAN propagation in the atmosphere "
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 517, 4220–4228 (2022)

- P. Fiorentin, R. Binotto, S. Cavazzani, A. Bertolo, S. Ortolani and I. Saviane
"Long-Time Trends in Night Sky Brightness and Ageing of SQM Radiometers"
Remote Sens. 2023, 15, 4196. <https://doi.org/10.3390/rs15174196>

- Ruckstuhl, C., et al., 2008,
"Aerosol and cloud effects on solar brightening and the recent rapid warming"
Geophysical Research Letters, vol. 35, L12708

- Linares Arroyo et al.: Monitoring, trends and impacts of light pollution. Nature Reviews 2024

ARPAV – Direzione Generale
Via Ospedale Civile, 24
35121 Padova,
Italia
Tel. +39 049 8239301
E-mail: protocollo@pec.arpav.it



ARPAV

Agenzia Regionale per la Prevenzione e
Protezione Ambientale del Veneto
Direzione Generale
Via Ospedale Civile, 24
35121 Padova
Italy
Tel. +39 049 8239 301
Fax +39 049 660966
e-mail: urp@arpa.veneto.it
e-mail certificata: protocollo@pec.arpa.v.it
www.arpa.veneto.it