



Meridiana

astroticino.ch

In viaggio per l'eclissi

Il racconto di chi è andato
negli Stati Uniti a caccia
dell'eclissi di Sole del 8 aprile

a pagina 12

Come si misura l'inquinamento luminoso

Tecniche e risultati
in Ticino

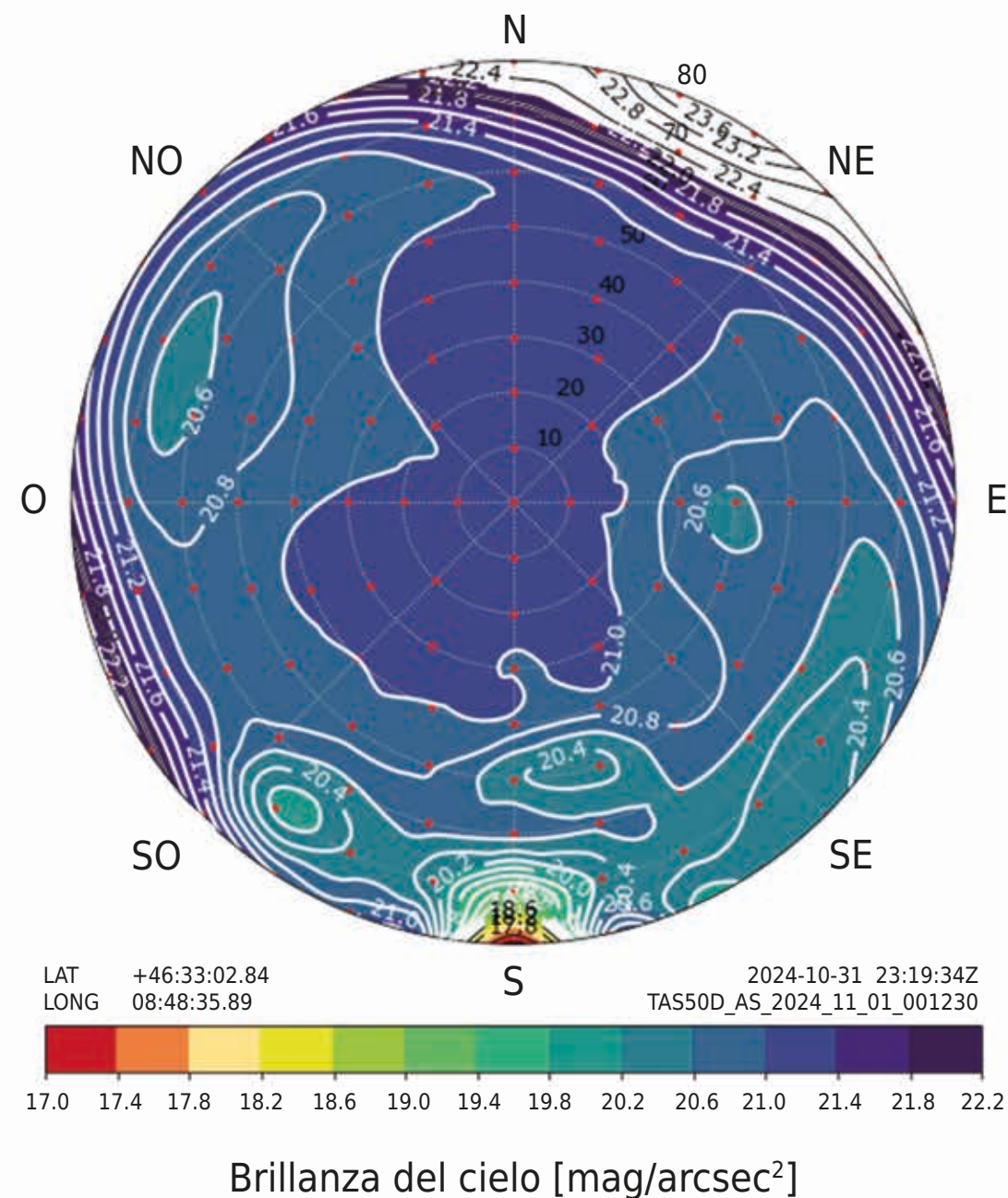
di Stefano Klett



Un cielo buio
Come si vedono le stelle al Lucomagno

LUCOMAGNO

416, Blenio, Circolo d'Olivone, Distretto di Blenio, Ticino, Svizzera



L'inquinamento luminoso è l'alterazione dell'illuminazione naturale notturna attraverso illuminazione artificiale. Di fatto tutta la luce di provenienza antropica altera per definizione il buio naturale. Comunemente viene accettata l'illuminazione di quello che è "necessario" illuminare.

Ne consegue che tutta l'illuminazione diretta al di fuori dalle zone dove è necessario illuminare e l'eccessiva illuminazione producono luce non necessaria che va ad alterare il buio naturale. Risulta difficile definire ciò che è necessario illuminare. Comunemente la luce funzionale (luce stradale) è ritenuta necessaria, se ben schermata e non eccede dalle quantità previste dalle norme di settore illuminotecnico.

C'è comunque da chiedersi se veramente è necessario illuminare tutte le strade per tutta la notte, visto che gli utenti della strada sono muniti di fari. È interessante osservare che l'approccio dipende anche da stato a stato e da regione in regione. Per esempio, in Svizzera le autostrade non si illuminano se non in alcuni svincoli d'innesto, mentre in altre nazioni le autostrade vengono comunemente illuminate.

L'illuminazione artistica, scenica o di monumenti è ritenuta non necessaria. Quindi essa dovrebbe essere limitata sia nella quantità di luce che nel tempo di illuminazione.

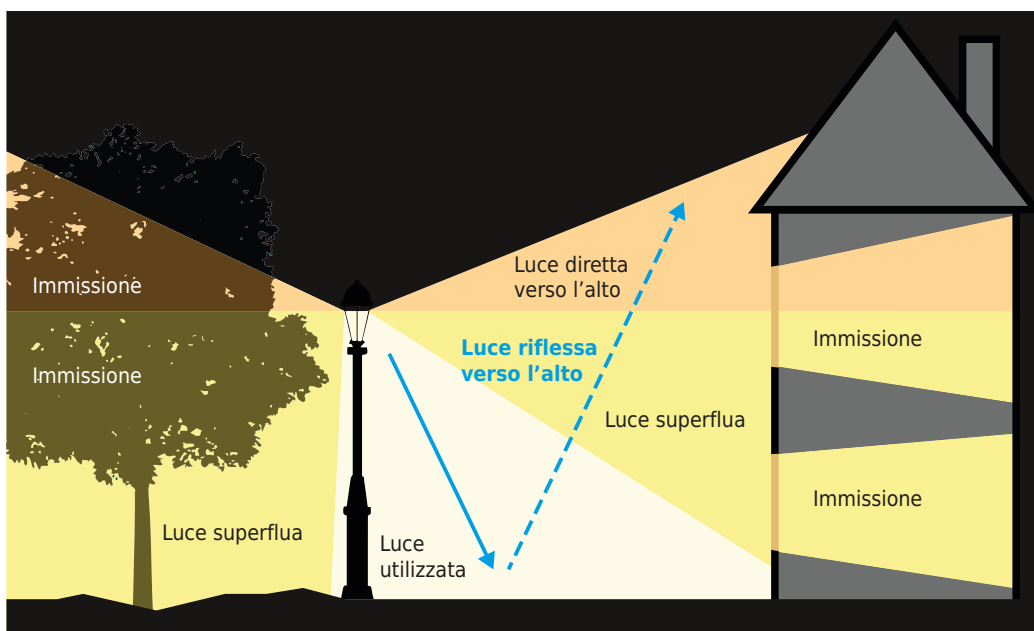
Propagazione della luce

Spesso si crede, che visto che il flusso luminoso diminuisce con il quadrato della distanza, la luce poi scompaia. Ma non è proprio così, di fatto i fotoni mantengono la stessa luce ma in uno spazio più grande. Questa luce andrà ad illuminare le particelle che compongono l'atmosfera terrestre diffondendo tutta la luce che ricevono. La quantità di luce diminuisce quindi solo in intensità e va ad illuminare il cielo in modo più ampio.

Come misurare e confrontare la luce?

Le grandezze fondamentali illuminotecniche sono:

- Flusso luminoso: il flusso luminoso Φ è il flusso radiante o la luce emessa da una sorgente luminosa e viene misurato in lumen [lm]. All'acquisto di una lampadina si trova l'indicazione del valore in lumen sulla confezione.



Illuminare solo dove è necessario

Ecco uno schema che spiega la differenza tra luce utilizzata e utile e luce decisamente superflua.

- Intensità luminosa: l'intensità luminosa di una sorgente puntiforme si misura in candela [cd]. La candela è l'unità di base del sistema SI (Sistema internazionale di unità di misura).
- Illuminamento: se un flusso luminoso viene intercettato dalla superficie piana A, l'illuminamento E che si misura su detta superficie nell'unità di misura Lux [lx] si esprime con la formula: $E = \Phi / A$, [lm/m²].
- Luminanza: se vogliamo misurare quanta luce c'è su un piano (per esempio su un campo da calcio), cioè la luminanza L del prato, usiamo l'unità di misura [cd/m²], quindi l'intensità luminosa per area. La luminanza dipende dalla quantità di illuminamento che incide sulla superficie e dal colore della superficie. Una superficie più scura a parità di illuminamento produce una luminanza inferiore. Maggiori informazioni sul tema sono disponibili sul sito: www.darksky.ch/dss/it/da-sapere/la-luce.

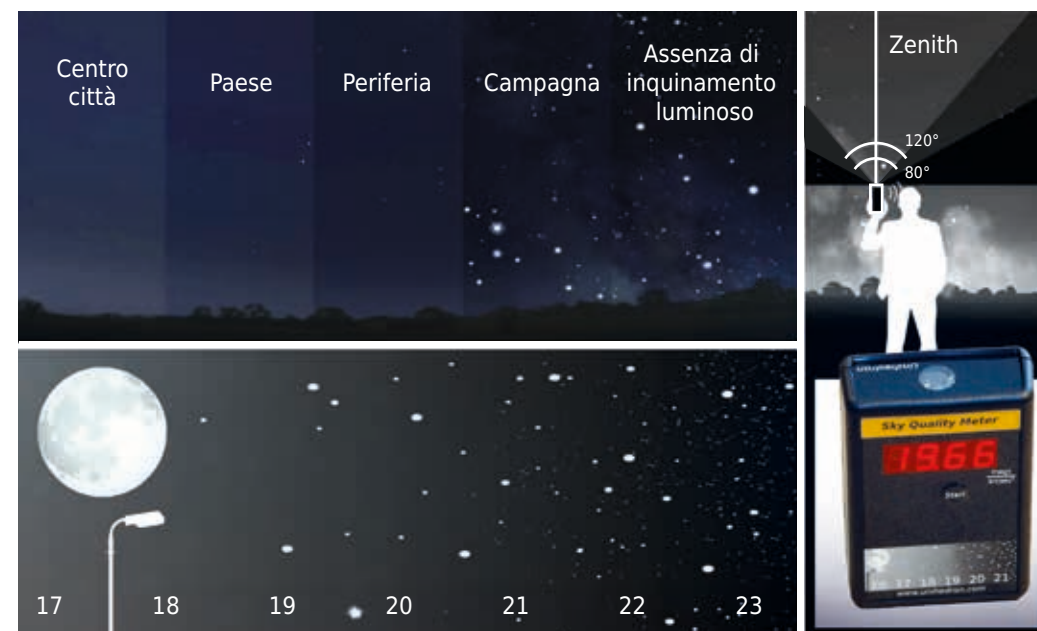
Effetti dell'inquinamento luminoso

Sono gli astronomi i primi ad aver evidenziato il problema dell'inquinamento luminoso. Basti

pensare che la maggior parte degli osservatori astronomici storici furono costruiti nei centri delle città. Quindi molto presto ci si rese conto che l'eccessiva luce emessa dalle città impediva l'osservazione della debole luce prodotta dalle stelle. Ma avanzando nelle ricerche ci si è resi conto che l'inquinamento luminoso ha ripercussioni sulla natura, riducendo per esempio drasticamente l'impollinazione, sulla migrazione degli uccelli, sulla salute umana, modificando i cicli circadiani e molto altro.

Come misurare l'inquinamento luminoso

Di fatto l'inquinamento luminoso si valuta misurando la luminanza del cielo. Ma visto che evidentemente non si può misurare un'area di cielo in metri quadri, si usa una misura angolare al quadrato, per definizione pari ad un secondo d'arco [arcsec²] (un grado diviso 3'600 secondi al quadrato). E come quantità di luce anziché delle candele [cd] (misura lineare) si usa la magnitudine stellare [mag] (misura logaritmica) quindi anziché in cd/m² la luminanza viene espressa mag/arcsec². La superficie misurata dipende dall'ottica dello strumento di misura.



Le differenze tra i vari cieli

L'inquinamento luminoso e quante stelle ci si perde per la troppa luce. A destra, un fotometro.

Per approfondire i dettagli sulle formule trasformative fare riferimento al sito della Unihedron, ditta che ha prodotto il primo Sky Quality Meter (SQM): <http://unihedron.com/projects/darksky/magconv.php>

Lo Sky Quality Meter (SQM) è di fatto un fotometro tascabile che permette di misurare istantaneamente la luminanza del cielo notturno.

Osservazioni sulle misurazioni dell'inquinamento luminoso

Bisogna essere consci che le luci locali influenzano marginalmente la misura del cielo sopra la propria testa. Il valore misurato dipende dalla somma delle luci che si diffondono verso il cielo.

Chiaramente questo è vero se le misurazioni tramite SQM non sono influenzate da luci che entrano direttamente nel campo ottico di misurazione, in tal caso renderebbero la misurazione inutilizzabile.

Le luci prodotte da una città possono influenzare la luminanza del cielo anche a più di 50km di distanza. Per assurdo, le emissioni di luce più sono basse sopra l'orizzonte più fanno un percorso lungo nell'atmosfera e quindi produrranno più inquinamento luminoso rispetto a una luce puntata direttamente verso il cielo.

Altro parametro che influenza drasticamente le misure SQM è chiaramente la nuvolosità, ma anche l'umidità locale. Infatti, in presenza di umidità, se ci si trova in una località urbana, i valori SQM risulteranno più bassi a causa dalla diffusione delle luci locali. Mentre in presenza di umidità o nuvole in zone dove c'è assenza di luce (come in montagna) le misure risulteranno falsate con valori SQM più elevati. Per questo motivo è importante che le misure avvengano quando il cielo è terso (perfettamente pulito).

Misurazioni sistematiche

Quando fu commercializzata la versione SQM con connessione di rete (il modello SQM-LE) mi venne subito l'idea di effettuare delle misurazioni sistematiche, così da avere dei valori di riferimento storici.

Quindi, a fine maggio 2009 installai la versione SQM-LE presso Camorino (ai tempi abitavo lì) e iniziai a memorizzare i dati localmente.

Mi resi conto che questi dati avrebbero dovuto essere raccolti in più luoghi sul territorio ed essere conservati in un database. Per questo motivo ad inizio 2010 chiesi la preziosa collaborazione con l'Osservatorio Ambientale della Svizzera Italiana (OASI) e quindi i risultati raccolti vennero integrati nel database dei dati ambientali cantonali.

Da aprile 2010 furono man mano aggiunti i rilevamenti di osservatori privati, pubblici e di siti dove OASI era già presente per la rilevazione di altri dati ambientali.

Nel novembre del 2011 venne poi aggiunta la sonda presso il centro Pro Natura che si trova nel comune di Blenio ai margini di una delle zone più buie in Svizzera.

Maggiori informazioni sui rilevamenti sono disponibili sul sito di OASI: www.oasi.ch/web/dati/inquinamento-luminoso.html

Questa collaborazione ha permesso alla tematica di essere considerata in alcuni rapporti ambientali cantonali:

- 2009 - Rapporto Ambiente: - www4.ti.ch/fileadmin/DT/temi/rapporto_ambiente/volumi_2009/B07_Inquinamento_luminoso.pdf
- STAR - Statistica Ticinese dell'Ambiente e delle Risorse naturali - www3.ti.ch/DFE/DR/USTAT/allegati/volume/schede_star_2023_inquinamento.pdf

Mappe dell'inquinamento luminoso

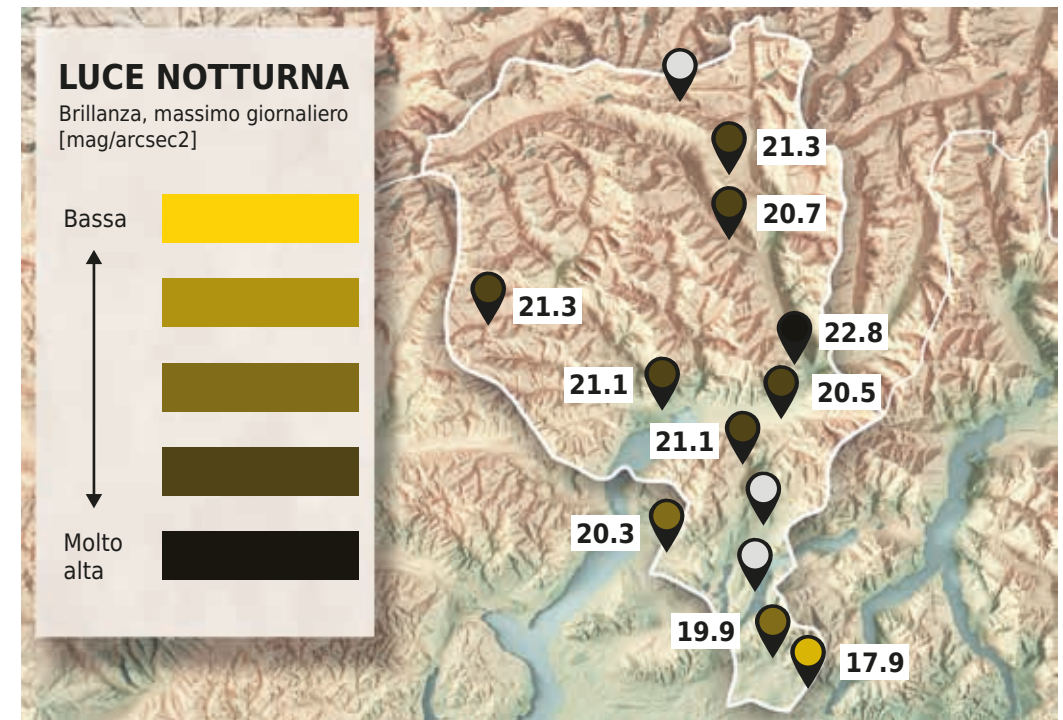
Le mappe dell'inquinamento luminoso si basano sulle osservazioni effettuate dai satelliti VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) della NASA/NOAA. VIIRS raccoglie immagini nel visibile e nell'infrarosso insieme a osservazioni globali della terra.

Le immagini riguardanti le emissioni di luce sono disponibili sul sito: www.lightpollution-map.info

Esse sono composte da una sovrapposizione di immagini che rappresentano le emissioni visibili da satellite e sono rappresentate in Radianza ($10^{-9} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$).

Nel 2015 fu pubblicato il lavoro del ricercatore italiano Fabio Falchi "Atlante mondiale dell'illuminazione artificiale".

Fabio Falchi ha calcolato, partendo dai dati satellitari dell'illuminazione esterna attuale



La qualità del cielo ticinese

Valori tipici di inquinamento luminoso accolti dall'Osservatorio Ambientale della Svizzera Italiana.

(2015), la diffusione dell'illuminazione nell'atmosfera. L'inquinamento luminoso è stato rappresentato a livello mondiale con la brillantezza del cielo notturno attuale, calibrandone i valori ottenuti con delle misurazioni a terra.

Questa rappresentazione, anche disponibile sul sito sopra citato selezionando l'Overlay "World Atlas" rappresenta quindi la situazione della visione del cielo allo zenit in qualsiasi posto sulla terra, espressa in mag/arcsec².

Quindi la prima rappresentazione mostra le emissioni visibili dall'alto mentre la rappresentazione dell'Atlante, mostra come si vede il cielo dalla Terra da ogni punto del globo, tenendo conto della rifrazione e dell'altitudine dell'osservatore terrestre.

Sul sito di Dark-Sky Switzerland sono disponibili i PDF delle varie rappresentazioni inerenti alla Svizzera: www.darksky.ch/dss/it/attivita/mappe-notturne

La rappresentazione delle emissioni è stata

quantificata in equivalenti "Lune piene" che dà un'idea più concreta della quantità di luce artificiale. Una Luna piena misura a terra circa ¼ di LUX.

Altre misure

Come descritto precedentemente, anche se una delle misure di base per l'inquinamento luminoso è la luminanza del cielo essa non è utile per risolvere problemi di emissioni di luce moleste.

In questo caso è necessario verificare il rispetto delle norme vigenti; quindi, che l'impianto abbia un'ottica che illumini solo la superficie da illuminare e che vengano mantenuti dei valori minimi rispetto alle norme illuminotecniche. Infatti, le norme illuminotecniche definiscono il minimo illuminamento o luminanza necessario per tipologia di strada. Mentre la norma SIA 491 stabilisce che gli impianti devono essere progettati in modo tale che i bisogni siano

soddisfatti con il minimo utilizzo di luce. Quindi il minimo definito nella norma illuminotecnica va interpretato come massimo, tenendo conto delle tolleranze illuminotecniche di invecchiamento dell'impianto, che fan sì che le ottiche con il passare del tempo deperiscano, quindi illuminano meno che dopo l'installazione, conseguentemente l'impianto nuovo risulta essere leggermente più luminoso del minimo necessario. Da notare che questo effetto di invecchiamento, oggi dovrebbe venir mitigato automaticamente dalla regolazione dei LED. Infatti, i led permettono di regolare puntualmente l'emissione di luce, risulta quindi tecnicamente possibile aumentare l'emissione di luce con l'invecchiamento dell'ottica ottenendo che il lampione produca costantemente la stessa quantità di luce.

Dunque, se si vuole controllare l'illuminamento bisogna munirsi di un luxometro, è possibile ottenere una stima con una telecamera del telefonino, ma la misura risulterà poco attendibile. Mentre per misurare la luminanza sul terreno è necessario un misuratore di luminanza che di norma risulta essere un apparecchio di misura abbastanza caro. Per luminanze moderate sarebbe possibile anche usare un SQM e fare le dovute conversioni, ma risulta difficile mirare il punto di misura e il cono misurato da un SQM arriva fino ai 20°, quindi poco idoneo per misure puntuali. Sarebbe pure possibile usare una macchina fotografica digitale, ma essa dovrà essere calibrata e bisognerà munirsi di software capace di rappresentarne i valori. Questo tema richiederebbe un approfondimento specifico.

Le raccomandazioni BAFU per la prevenzione delle emissioni luminose prevede anche dei valori limite di disturbo di illuminamento verticale. Bisogna riconoscere che i valori indicati in tale raccomandazione possono risultare elevati. Un Lux di illuminamento verticale in una zona scarsamente popolata risulta a mio parere elevato, e questo prendendo come confronto l'illuminamento al suolo della Luna piena, che spesso è riconosciuta come disturbante del sonno, ed è pari a 0,25 Lux.

Quindi in tal caso, per ottenere dei risultati in caso di disputa, è meglio rifarsi alla necessità di illuminare dove necessario e quindi alla geo-

metria ottica dell'impianto.

La tonalità della luce

Un altro fattore importante da misurare è il CCT ossia Correlated Color Temperature. Questo è un valore espresso in Kelvin (K) che determina il colore di cui è composta la luce. Infatti, il colore della luce ha un impatto diretto sull'attivazione delle specie animali e in più, per via dell'effetto di scattering di Rayleigh che ci insegna che la luce bianco-blu viene diffusa molto di più dalle molecole dell'atmosfera (proprio per questo motivo il cielo è blu), le emissioni di luce fredda si propagano più lontano nell'atmosfera.

La tabella seguente mostra quali sono i colori di cui è composta la luce per cui le varie specie di animali si attivano di più. In generale più il valore del CCT è basso (tonalità di luce calda) meno si disturba la fauna.

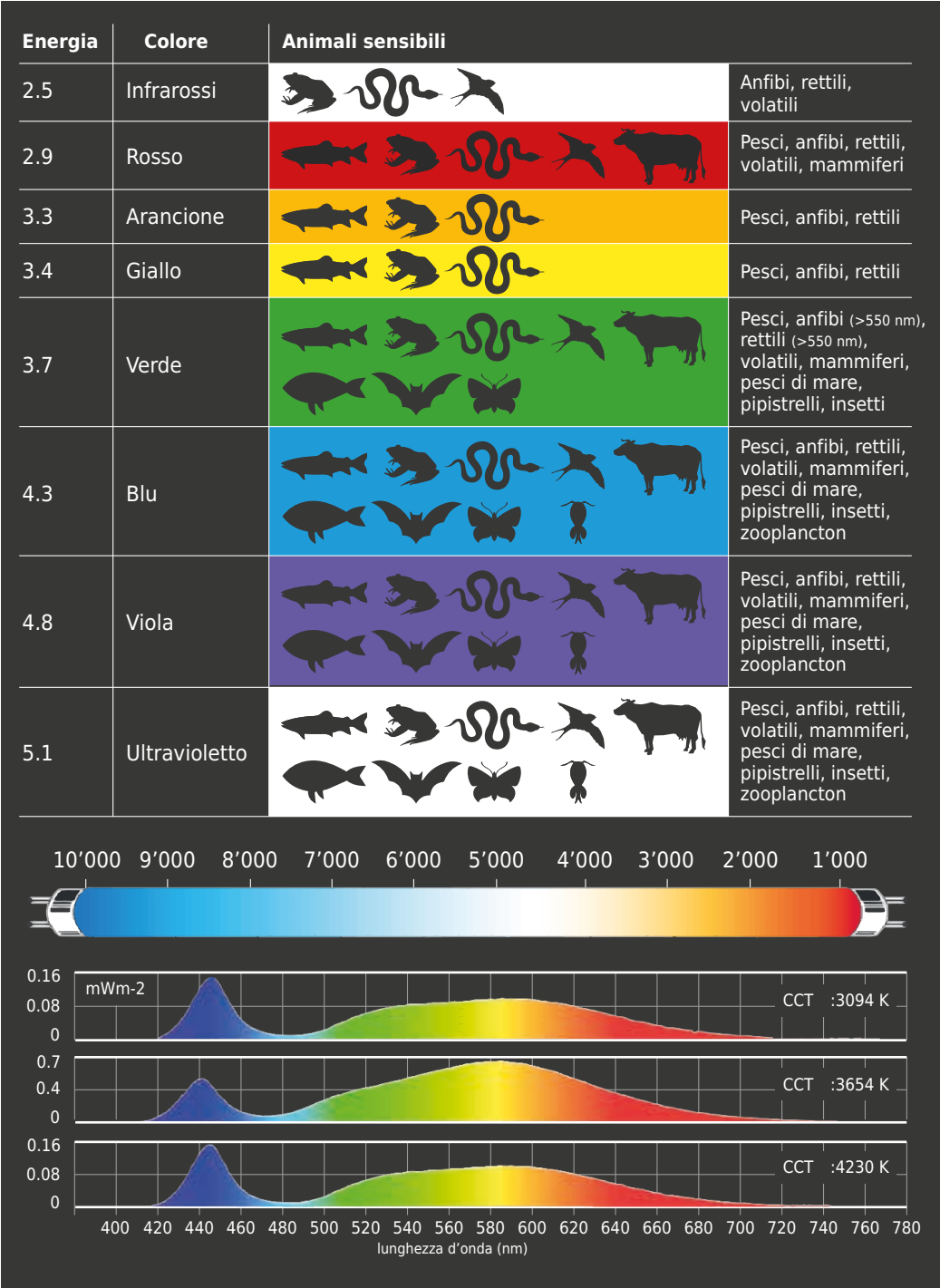
Proprio per questo motivo la norma SIA 491 cita: "Oltre agli aspetti artistici e di sicurezza, gli spettri devono essere adattati considerando gli effetti fastidiosi o dannosi per l'essere umano e la natura. Nella luce, quindi, la componente a basse lunghezze d'onda (UV e blu) deve essere ridotta al minimo. Questo vale in particolare per le aree naturali e semi-naturali esterne alle zone abitate".

Mentre le raccomandazioni per la prevenzione delle emissioni luminose dell'UFAM citano "Dal punto di vista della Legge federale sulla protezione dell'ambiente e della Legge federale sulla protezione della natura e del paesaggio si dovrebbero pertanto impiegare il più possibile LED a luce bianca calda, e secondo lo stato delle conoscenze quelli con una temperatura di colore inferiore a 2'700 K".

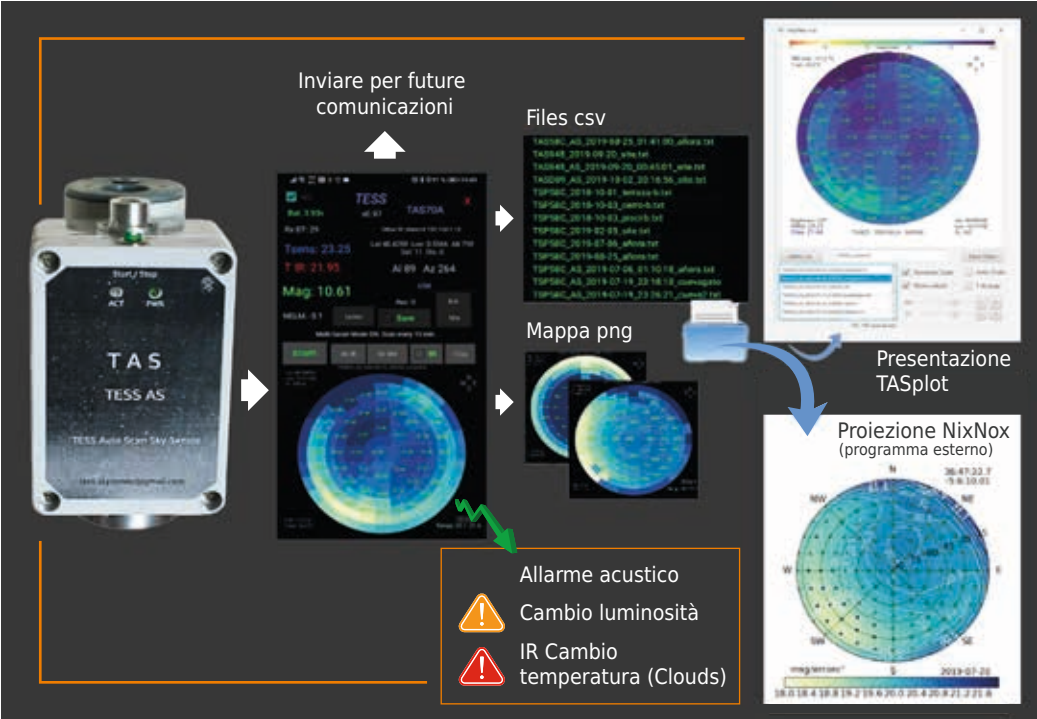
Come si misura il Correlated Color Temperature (CCT)

Uno spettrometro permette di analizzare il dettaglio della composizione (colori) della luce e calcola automaticamente il valore CCT risultante.

Tipicamente la luce a LED ha un picco di luce nel blu (circa 440 nm), è importante che questo picco non sia superiore al resto della luce emessa. In tal caso la luce emessa risulta essere



Ne fa di tutti i colori
L'influenza del "colore" della luce su vari animali. Rappresentazione tratta dal libro "Mein Haus, mein Licht, unsere Umwelt" di Lukas Schuler e Kurt Wirth. Tabella ANPCEN 2015.



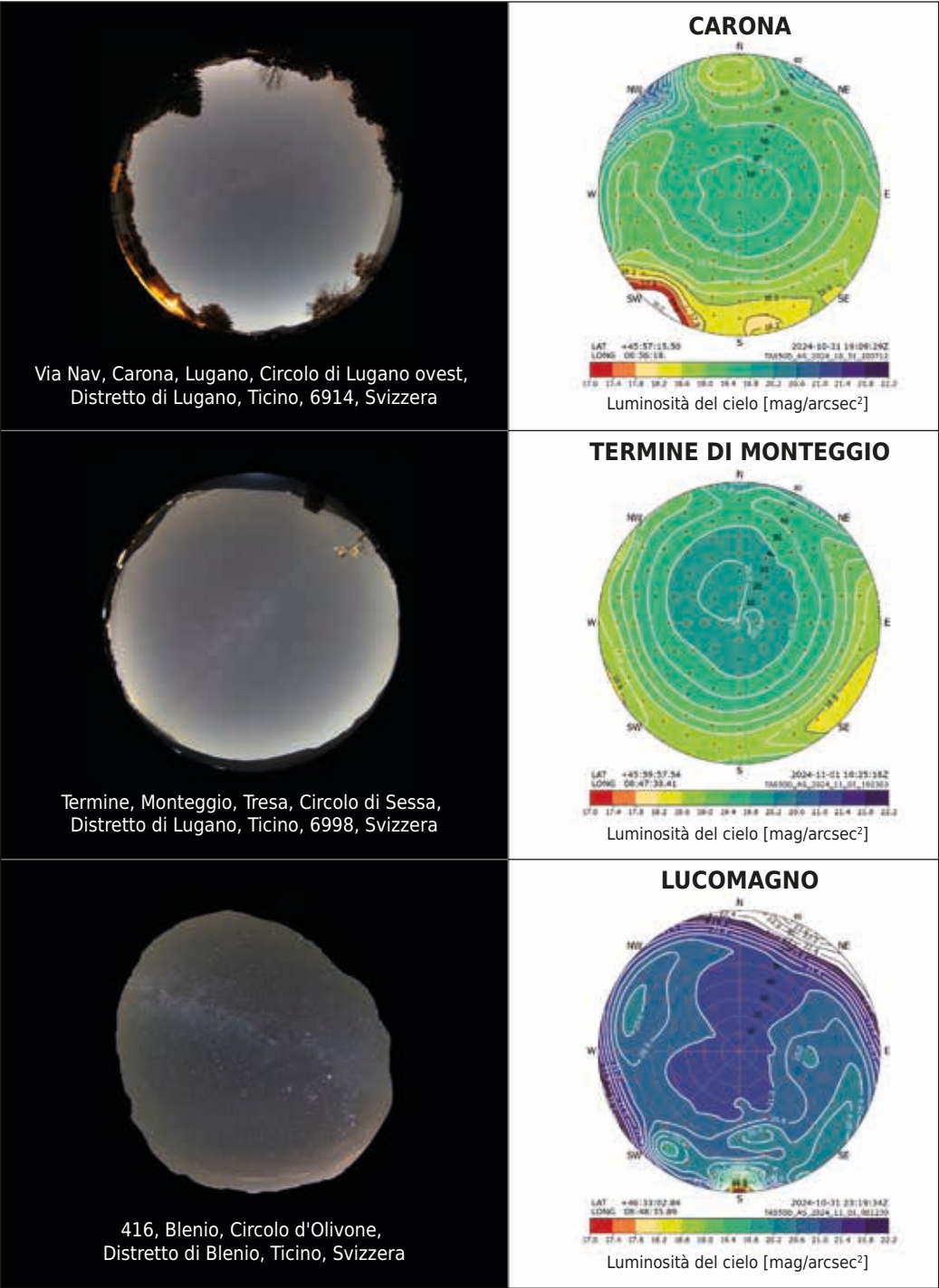
Le misure
Come si effettuano le misurazioni tramite TAS.

fredda e di conseguenza disturbante. Recentemente è stato messo sul mercato anche un mini-apparecchio (OPPLE Light Master) a buon mercato che permette di fornire rapidamente i dati inerenti all'illuminamento (LUX) e il CCT.

Il Progetto STAR4ALL

STAR4ALL è un progetto finanziato dall'EU, nato per sensibilizzare sul problema dell'inquinamento luminoso e per gettare le basi per dei cambiamenti politici. In pratica sono stati sviluppati tre tipi di apparecchi di misura (<https://tess.stars4all.eu>); TESS-P, TESS-W, TAS. I tre fotometri sono paragonabili agli SQM della Unihedron ma integrano in più anche un sensore per misurare la temperatura IR del cielo. Questo valore è importante per valutare la trasparenza del cielo, quindi la presenza di nuvole, valore difficilmente valutabile con un solo fotometro. Il TESS-P è un apparecchio tascabile per la

misura immediata, mentre TESS-W è pensato per la misura stazionaria (quindi come nella rete OASI) o per la misura in movimento (per misurare il cielo seguendo un percorso). TAS invece è un misuratore che, una volta posizionato, grazie ad un micromotore, esegue una misura per ogni "spicchio" del cielo sovrastante (tutta la semisfera del cielo). Restituendo i valori di brillantezza e di trasparenza di tutto il cielo. Questo permette di avere una valutazione completa e quindi capire meglio da quali direzione arrivano le emissioni di luce. Dunque, questo tipo di apparecchi sono molto adatti per delle misure sistematiche ottenendo anche il valore di trasparenza del cielo. Attualmente abbiamo in funzione un TESS-W nella stazione di Termine di Monteggio che raccoglie parallelamente i dati al SQM-LE. Il TESS-W invia i dati tramite protocollo standard MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) ad un server presso l'università di



In tre luoghi del cantone
Quanto è diversa la situazione a Carona, a Monteggio e sul Lucomagno.

In Svizzera sono già in uso alcune di queste sonde, in particolare una è installata presso parco Gantrisch (BE-FR), che è il primo (e attualmente unico) parco Dark-Sky in Svizzera (https://tess.dashboards.stars4all.eu/d/data-sheet_stars930/stars930).

Misure a tutto cielo

Questo permette di visionare in tempo reale sul telefonino la misura che si sta effettuando. Le misure vengono in seguito salvate in un file di testo con tutti i valori relativi alle misure.

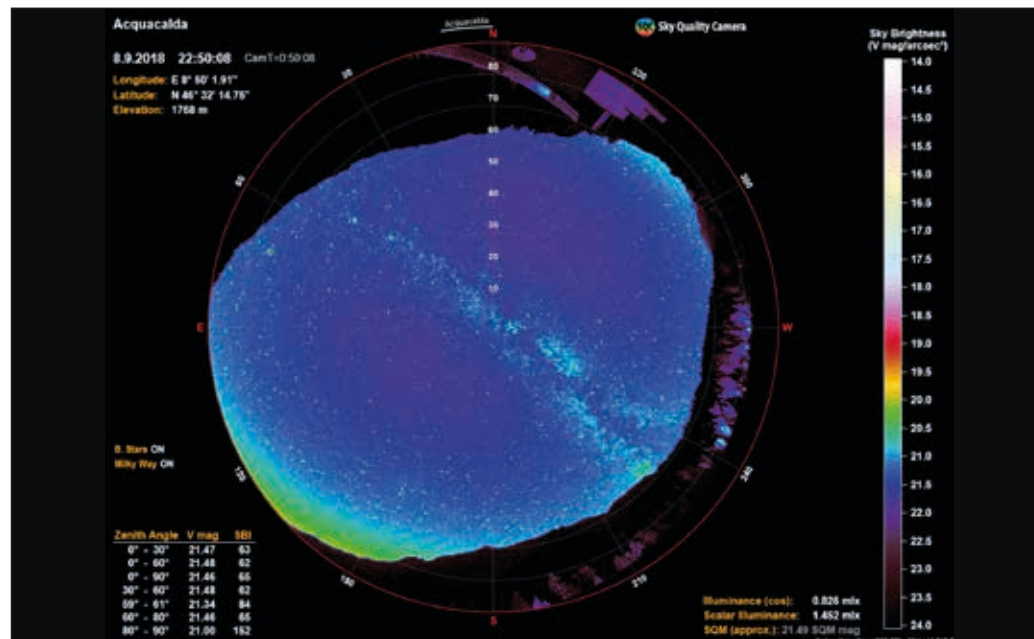
Qui di seguito alcune misure effettuate durante la notte tra il 31 ottobre 2024 e 1° novembre 2024 che ho provveduto ad affiancare con una foto fisheye effettuata durante la stessa notte.

Da notare che la rappresentazione (e conseguentemente anche le foto fisheye) inverte l'est con l'ovest, per ottenere una visione dall'alto verso il basso, al contrario delle normali mappe stellari, che hanno una visione dal basso verso l'alto.

Questa rappresentazione è stata scelta per poter identificare più facilmente le fonti luminose sulla carta topografica. Qui sotto avete un esempio esplicativo.

Altre misure a tutto cielo

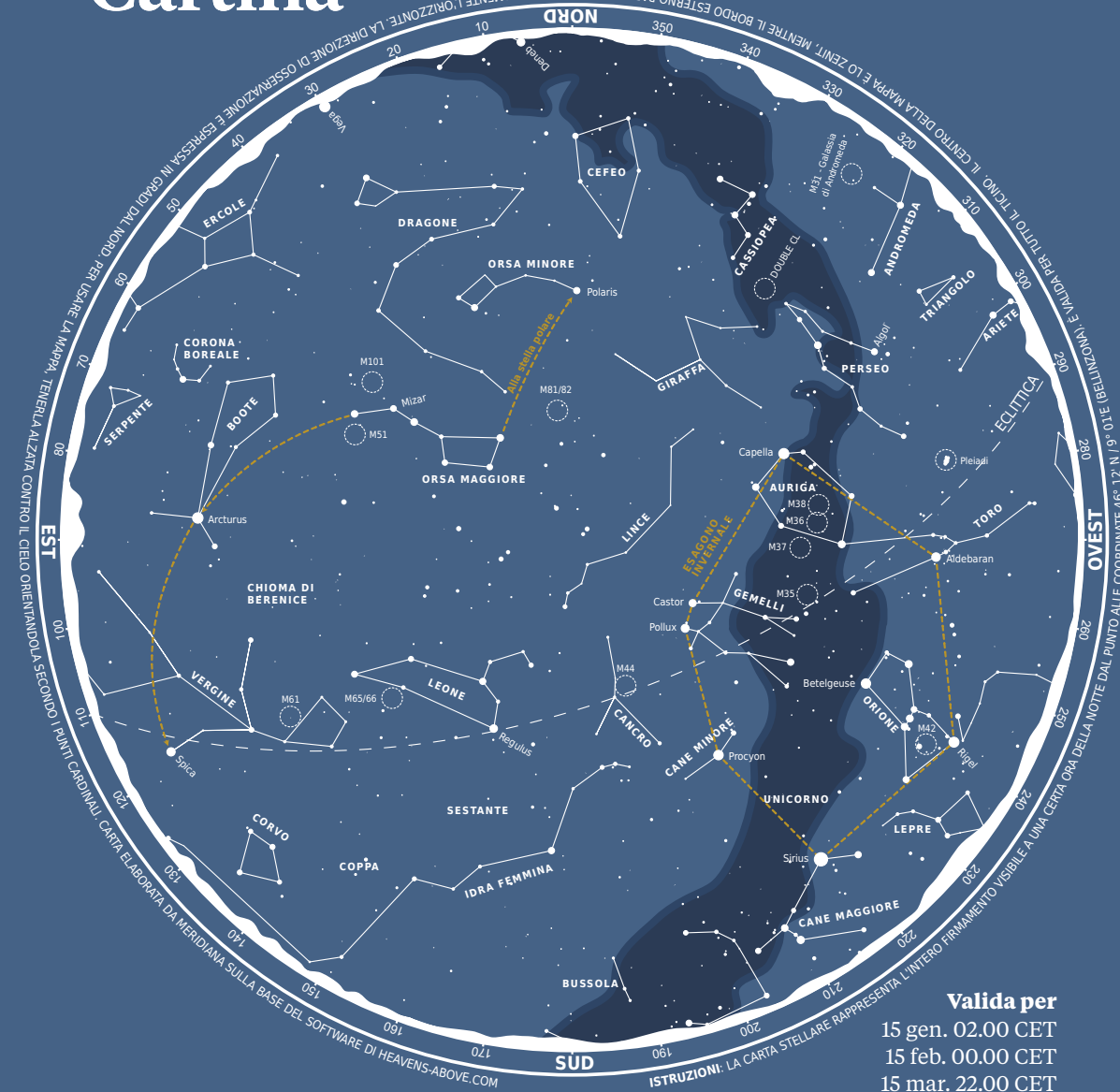
Per dirla tutta, per effettuare delle misure a tutto cielo, esiste pure la possibilità di usare la Sky Quality Camera (SQC), che di fatto è un software sviluppato in Slovenia da Andrej Mohar, che permette di trasformare i dati acquisiti tramite macchina fotografica DSLR calibrata, in rappresentazione del valore di luminanza del cielo. Purtroppo, a causa di una riparazione all'apparecchio Canon DSLR in mia dotazione, non mi è stato possibile in questo momento confrontare i dati con le misure effettuate con il TAS.



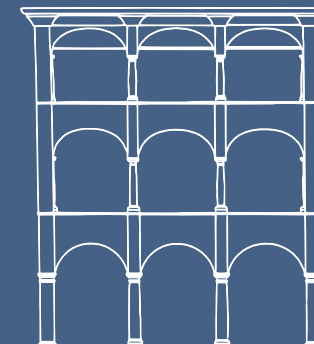
La Sky Quality Camera

Esempio di dati ripresa con la SQC nel 2019

Cartina



Valida per
15 gen. 02.00 CET
15 feb. 00.00 CET
15 mar. 22.00 CET

LIBRERIA CARTOLERIA
LOCARNESE

PIAZZA GRANDE 32
6600 LOCARNO
Tel. 091 751 93 57
libreria.locarnese@ticino.com

Libri divulgativi di astronomia
Atlanti stellari
Cartine girevoli "SIRIUS"
(modello grande e piccolo)