

Analisi dei dati delle centraline SQM aderenti al CORDILIT

Andrea Botteon
agosto 2014

1 Introduzione

Il sogno di ogni astrofilo è quello di avere a disposizione il cielo più buio possibile; tuttavia, la caccia di luoghi remoti e isolati lontani dalle città e dall'inquinamento luminoso (IL, da qui in avanti) non è sempre facilmente realizzabile. Basti pensare alle attività dei gruppi astrofili, che devono coincidere con la presenza di un osservatorio alla portata di tutti, quindi facilmente accessibile, ma allo stesso tempo in un luogo il più buio possibile.

La lotta contro l'IL non riguarda solo le attività degli astronomi amatoriali. L'uso sensato e razionale dell'illuminazione stradale e degli altri luoghi pubblici (ma non sono da escludersi quelli privati) porterebbe anche ad un guadagno dal punto di vista economico. Non di rado è facile imbattersi in impianti privi di qualsivoglia logica illuminotecnica che durante la notte illuminano a giorno grandi quantità di spazio senza che ce ne sia effettivamente bisogno (l'esempio classico è rappresentato dai parcheggi dei supermercati). Ma è anche possibile trovare impianti illuminanti progettati male, come gli obsoleti, ma purtroppo ancora in circolazione, lampioni sferici, che disperdono inutilmente verso l'alto una buona frazione della luce emessa.

Per questo motivo è nato il CORDILIT, il *Cordinamento (Italiano) per la Raccolta Dati sull'Inquinamento Luminoso*, che permette il monitoraggio dell'IL mediante la raccolta di dati tramite dei rilevatori, detti *Sky Quality Meter* (SQM), in grado di misurare la brillantezza del fondo cielo μ durante tutto l'arco della nottata. Le misure sono effettuate in magnitudini su arcosecondo quadrato ($mag \cdot arc\ sec^{-2}$); poichè la scala di magnitudini è una scala inversa, alti valori di μ indicano sorgenti poco luminose mentre bassi valori di μ indicano sorgenti molto luminose. Naturalmente i cieli affetti da basso IL avranno i valori di μ più elevati.

Per vedere se l'IL si è abbassato in un determinato periodo è necessario controllare che le misure più recenti delle SQM siano migliori rispetto a quelle del passato.

Nelle pagine seguenti sono esposti i criteri con cui sono stati selezionati i dati e i risultati ottenuti dall'analisi di questi.

2 Riduzione e analisi dei dati

I dati utilizzati per effettuare questo studio sono reperibili nel sito del CORDILIT, al link http://www.attivarti.org/cordilit/?page_id=181.

Per ogni centralina si sono cercate misure delle SQM nelle date comprese tra il 01-12-10 e il 28-02-14.

Delle dieci stazioni che aderiscono al CORDILIT si sono esclusi i dati delle centraline di Cerese (MN), Fiamene (VR) Foligno (PG) e San Benedetto Po

(MN), data la recente installazione delle SQM. I dati analizzati riguardano quindi le centraline di Castiglioncello (LI), Lendinara (RO), Nove (VI), Montebello Vicentino (VI), Scandriglia (RI) e Vittorio Veneto (TV).

Ogni centralina effettua una misura della brillantezza di fondo cielo a distanza di qualche minuto l'una dall'altra¹, quindi ogni singola notte presenta una serie di dati; per questo motivo il numero di misure effettuate dalle SQM nell'arco di tre anni è notevole (qualche decina di migliaia per ogni stazione²).

Come prima operazione si è cercata la misura massima rilevata dalle SQM per ogni notte, così da avere un dato al giorno. I valori così ottenuti rappresentano la misura più buia del cielo per ogni singolo giorno. Tuttavia, da questi valori bisogna escludere i falsi massimi, cioè quei massimi che non sono raggiunti con continuità di misure ma che appaiono come dei picchi locali e isolati³. Un massimo viene tipicamente ritenuto affidabile se il valore che lo precede, o il successivo, è entro $\pm 0.02 \text{ mag} \cdot \text{arc sec}^{-2}$.

I dati sono stati successivamente divisi in trimestri (dicembre-febbraio⁴, marzo-maggio, giugno-agosto, settembre-novembre) per poi analizzare l'andamento temporale della media trimestrale delle misure massime: se c'è un abbassamento dell'IL, ci sarà un aumento della qualità del cielo medio.

La suddivisione in trimestri rappresenta il giusto compromesso tra l'avere una buona statistica di dati e il problema delle variazioni climatiche: lo studio delle medie tra periodi più brevi sarebbe troppo soggetto al meteo, mentre quello tra periodi più lunghi porterebbe ad un numero ridotto di valori. Inoltre, grazie a questa suddivisione, è possibile confrontare direttamente periodi dell'anno uguali, dove il cielo è nella stessa configurazione⁵.

Infine si è effettuato un fit lineare dei dati (utilizzando il metodo dei minimi quadrati⁶) avendo l'accuratezza di dare una maggiore significatività ai trimestri con una bassa dispersione intorno al valor medio e a quelli che dispongono di un numero maggiore di misure (i trimestri con meno di 30 rilevazioni sono stati esclusi dal fit). Sebbene non ci si aspetti un andamento strettamente lineare dei punti, la pendenza della retta può essere vista come un indicatore della variazione della bontà del fondo cielo.

Sono di seguito presentati i dati ottenuti per le singole stazioni che contribuiscono al CORDILIT.

¹L'intervallo tra le due misure dipende da come è stata programmata l'SQM, tipicamente si compie una misura ogni cinque minuti.

²Il numero preciso dipende da centralina a centralina poiché non tutte le SQM sono state montate simultaneamente. Inoltre, alcune centraline hanno subito delle momentanee interruzioni di misure come conseguenza di malfunzionamenti o manutenzioni.

³Questi potrebbero essere attribuiti ad agenti esterni che hanno impedito in quell'istante la corretta misurazione del fondo cielo, come momentanee ostruzioni del'SQM dovute, ad esempio, ad una foglia che si è posata sopra al rilevatore).

⁴I trimestri veranno sempre seguiti dall'anno a cui fanno riferimento. Il trimestre DIC-FEB comprende il dicembre dell'anno considerato e i due mesi dell'anno successivo.

⁵Per esempio, la Via Lattea, emettendo luce, potrebbe fare diminuire i valori misurati dalle SQM nelle notti estive.

⁶Consiste nel trovare la retta per cui è minima la distanza (lungo la verticale) tra i punti.

3 Centralina di Castiglioncello (LI)

La centralina di Castiglioncello (LI) ha raccolto tra il 05-01-11 e il 13-03-12 **60011** valori. Fino all'11-03-11 l'SQM era programmata per produrre una misura ogni due minuti, successivamente è stata impostata per ottenere le misure ogni cinque minuti.

La ricerca dei massimi per ogni data ha portato a **360** valori che spaziano da 20.31 a 17.19 $mag \cdot arc \ sec^{-2}$.

Esclusi i falsi massimi, si è costruita la tabella 1 dove sono visualizzate le statistiche relative alla stazione livornese divise per ogni trimestre mentre, in Fig. 1, sono rappresentate le distribuzioni dei massimi.

Tabella 1: Media, dispersione e numero di dati validi per trimestre.

Trimestre	$\langle \mu \rangle$ ($mag \cdot arc \ sec^{-2}$)	σ_μ ($mag \cdot arc \ sec^{-2}$)	N
DIC-FEB 2010	19.25	0.78	43
MAR-MAG 2011	19.54	0.48	66
GIU-AGO 2011	19.59	0.39	79
SET-NOV 2011	19.72	0.39	88
DIC-FEB 2011	19.73	0.61	71
MAR-MAG 2012	19.63	0.42	13

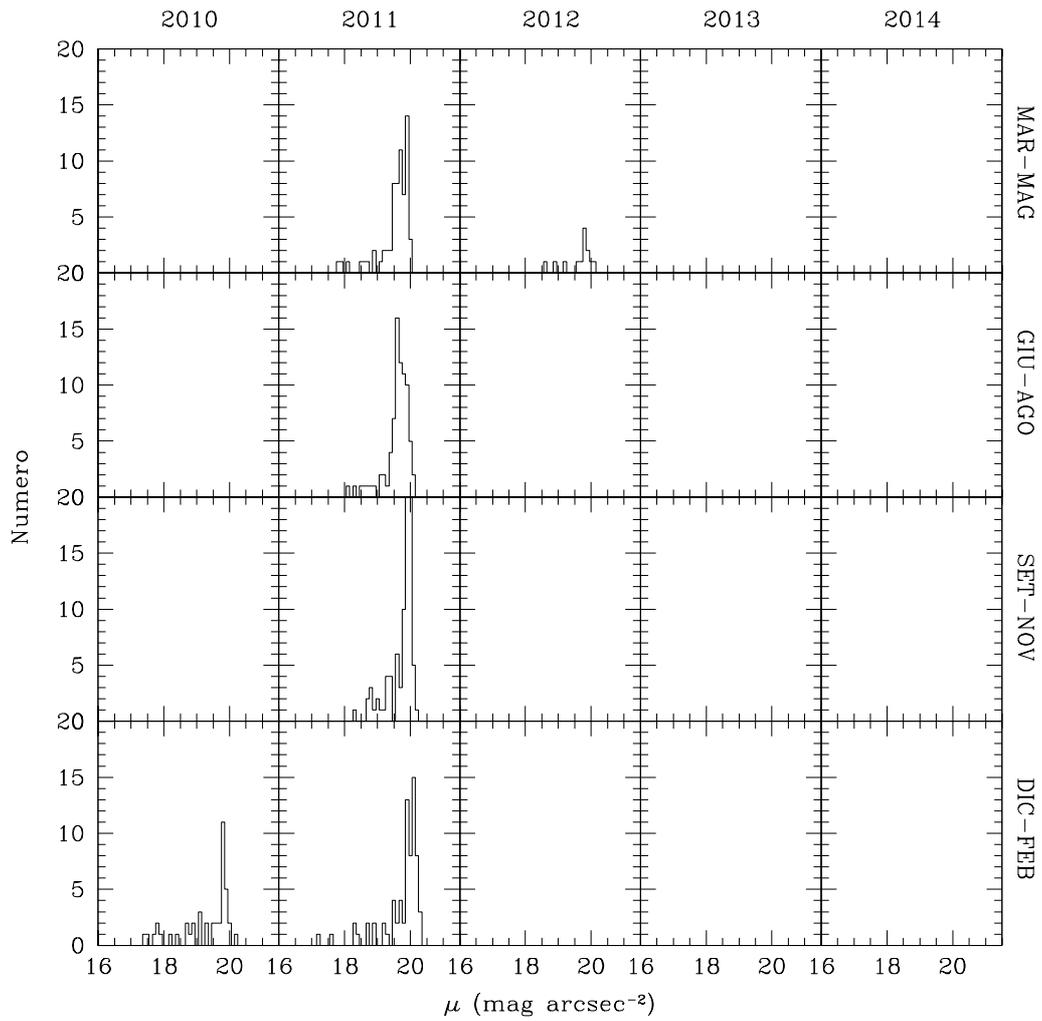


Figura 1: Distribuzione trimestrale dei massimi per la stazione di Castiglioncello (LI). Il bin adottato è di $0.10 \text{ mag} \cdot \text{arcsec}^{-2}$.

Con i dati della Tabella 1 è stato possibile ottenere il fit visualizzato in Fig. 2.

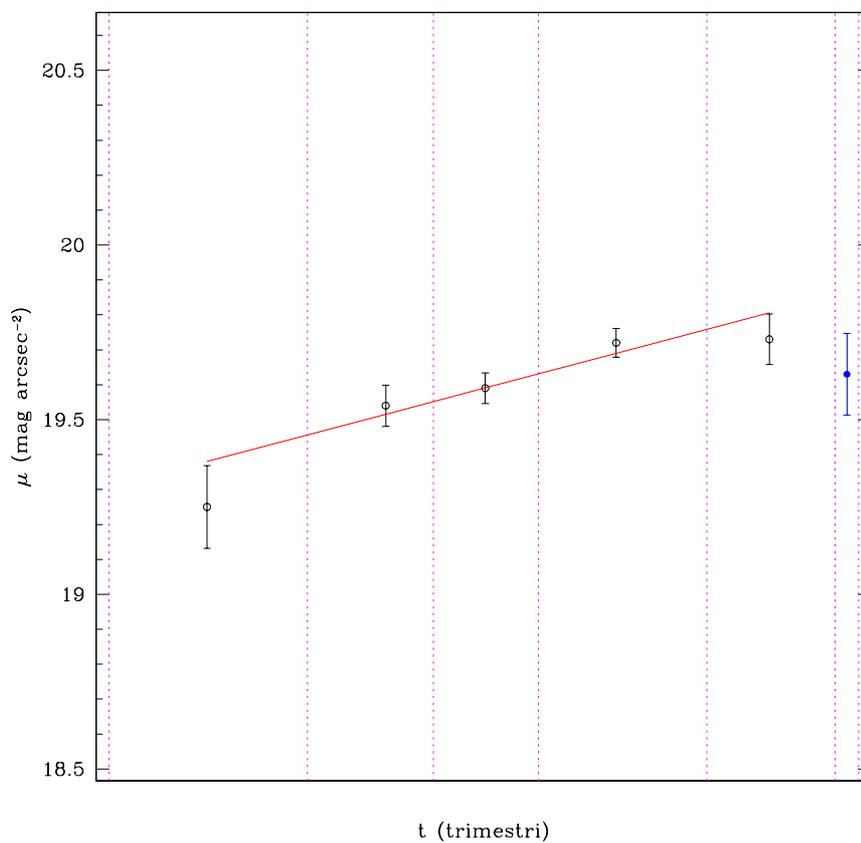


Figura 2: Andamento delle medie trimestrali per la centralina di Castiglioncello (LI). Le linee tratteggiate delimitano i diversi periodi, il punto blu è stato escluso dal fit perchè rappresenta un trimestre con meno di 30 misure.

La retta cresce inequivocabilmente, indicando cieli più scuri negli ultimi periodi. Tuttavia, è da notare che l'SQM è stata operativa per un periodo di tempo limitato, di poco superiore all'anno, pertanto leggere in questo scenario una regressione dell'IL è piuttosto azzardato.

Questo caso prova come sia necessario un buon campionamento di misure per poter trarre delle conclusioni senza fraintendimenti.

4 Centralina di Lendinara (RO)

La centralina di Lendinara (RO) ha raccolto tra il 28-04-11 e il 08-01-14 **42666** valori, compiendo una misura del fondo cielo ogni cinque minuti.

La ricerca dei massimi per ogni data ha portato a **728** valori che spaziano da 20.44 a $5.87 \text{ mag} \cdot \text{arc sec}^{-2}$.

È evidente che questa stazione presenta dei problemi per quanto riguarda la misura dei valori di μ più bassi: cieli molto luminosi, con luna o nuvolosi, possono presentare brillanze di fondo cielo di $\approx 16 \text{ mag} \cdot \text{arc sec}^{-2}$, mentre la centralina rovigotta ha almeno 10 misure massime giornaliere al di sotto di $15 \text{ mag} \cdot \text{arc sec}^{-2}$, con diversi valori anche inferiori a $10 \text{ mag} \cdot \text{arc sec}^{-2}$. I dati presenti sul sito CORDILIT dimostrano che queste misure falsate sono concentrate prevalentemente nel periodo che va dal 01-04-13 al 23-05-2013, che è quindi da scartare per l'analisi dei dati. Tuttavia, i dati di questa stazione sono compromessi per un periodo ben maggiore di tempo: dal 23-05-2013 al 20-09-13 è stato osservato che l'SQM ha prodotto meno di 10 rilevazioni per oltre il 90% delle notti, motivo per il quale la ricerca del massimo per tali giorni non avrebbe senso. Eliminando anche questo periodo si è controllato, a partire dall'inizio del campione di misure, fino a quando i dati potessero essere considerati validi. Ebbene, le rilevazioni falsate cominciano già alla fine del 2011, con, ad esempio, 26 rilevazioni il 12-10-11, 12 rilevazioni il 15-10-11, 4 rilevazioni il 20-11-11...

Con una tale prolungata discontinuità di misure, sommata ad un periodo nel quale i massimi giornalieri risultano anche al di sotto di $10 \text{ mag} \cdot \text{arc sec}^{-2}$, è impossibile considerare i dati utilizzabili. Per questi motivi, non è riportata l'analisi della stazione di Lendinara (RO).

5 Centralina di Montebello Vicentino (VI)

La centralina di Montebello Vicentino (VI) ha raccolto tra il 24-05-11 e il 27-02-14 **134696** valori, compiendo una misura del fondo cielo ogni cinque minuti.

La ricerca dei massimi per ogni data ha portato a **991** valori che spaziano da 20.75 a 16.64 $mag \cdot arc\ sec^{-2}$.

Esclusi i falsi massimi, si è costruita la tabella 2 dove sono visualizzate le statistiche relative alla stazione vicentina divise per ogni trimestre mentre, in Fig. 3, sono rappresentate le distribuzioni dei massimi.

Tabella 2: Media, dispersione e numero di dati validi per trimestre.

Trimestre	$\langle \mu \rangle$ ($mag \cdot arc\ sec^{-2}$)	σ_μ ($mag \cdot arc\ sec^{-2}$)	N
MAR-MAG 2011	19.67	0.16	8
GIU-AGO 2011	19.49	0.48	84
SET-NOV 2011	19.47	0.70	89
DIC-FEB 2011	19.54	0.78	90
MAR-MAG 2012	19.47	0.56	88
GIU-AGO 2012	19.54	0.43	92
SET-NOV 2012	19.37	0.69	91
DIC-FEB 2012	19.47	0.77	86
MAR-MAG 2013	19.32	0.75	92
GIU-AGO 2013	19.49	0.48	92
SET-NOV 2013	19.41	0.75	91
DIC-FEB 2013	19.45	0.79	88

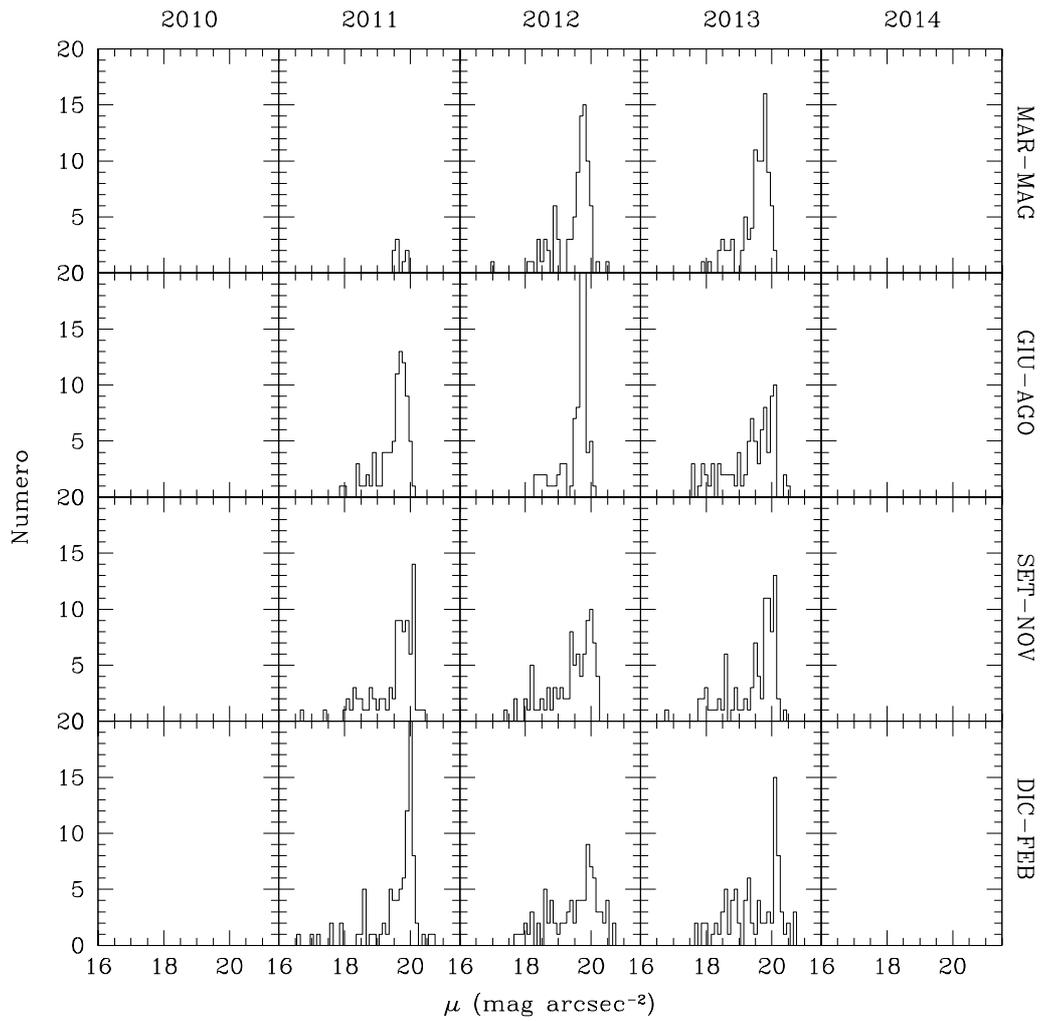


Figura 3: Distribuzione trimestrale dei massimi per la stazione di Montebello Vicentino (VI). Il bin adottato è di $0.10 \text{ mag} \cdot \text{arc sec}^{-2}$.

Con i dati della Tabella 2 è stato possibile ottenere il fit visualizzato in Fig. 4.

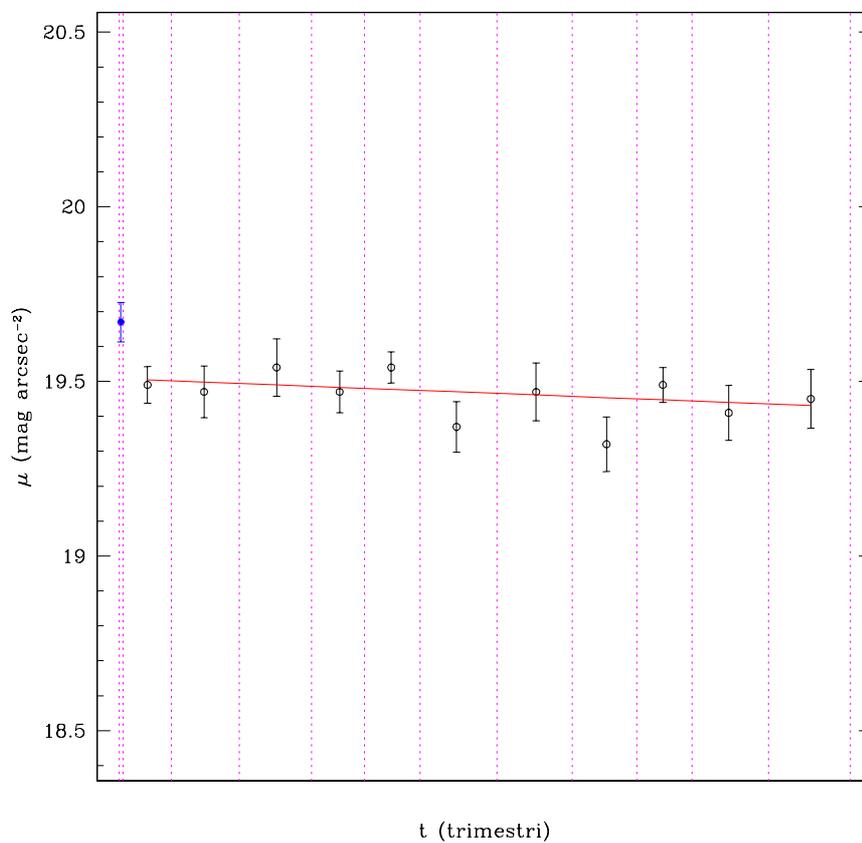


Figura 4: Andamento delle medie trimestrali per la centralina di Montebello Vicentino (VI). Le linee tratteggiate delimitano i diversi periodi, il punto blu è stato escluso dal fit perchè rappresenta un trimestre con meno di 30 misure.

L'andamento delle misure rimane abbastanza costante nel periodo di tempo considerato, subendo una variazione di meno di $0.10 \text{ mag} \cdot \text{arc sec}^{-2}$ in quasi tre anni di misure.

Solamente le misure future saranno in grado di confermare o smentire questa tendenza che, ad ora, sembrerebbe indicare un lento declino della qualità del cielo.

6 Centralina di Nove (VI)

La centralina di Nove (VI) ha raccolto tra il 26-01-11 e il 28-02-14 **100638** valori, compiendo una misura del fondo cielo ogni cinque minuti.

La ricerca dei massimi per ogni data ha portato a **1055** valori che spaziano da 20.21 a 16.67 $mag \cdot arc\ sec^{-2}$.

Esclusi i falsi massimi, si è costruita la tabella 3 dove sono visualizzate le statistiche relative alla stazione vicentina divise per ogni trimestre mentre, in Fig. 5, sono rappresentate le distribuzioni dei massimi.

Tabella 3: Media, dispersione e numero di dati validi per trimestre.

Trimestre	$\langle \mu \rangle$ ($mag \cdot arc\ sec^{-2}$)	σ_μ ($mag \cdot arc\ sec^{-2}$)	N
DIC-FEB 2010	18.87	0.99	34
MAR-MAG 2011	19.16	0.66	89
GIU-AGO 2011	19.14	0.58	69
SET-NOV 2011	19.25	0.73	66
DIC-FEB 2011	19.26	0.65	88
MAR-MAG 2012	19.24	0.60	91
GIU-AGO 2012	19.29	0.58	85
SET-NOV 2012	19.06	0.85	88
DIC-FEB 2012	19.06	0.84	90
MAR-MAG 2013	18.91	0.85	91
GIU-AGO 2013	19.35	0.63	87
SET-NOV 2013	19.20	0.81	89
DIC-FEB 2013	19.15	0.90	88

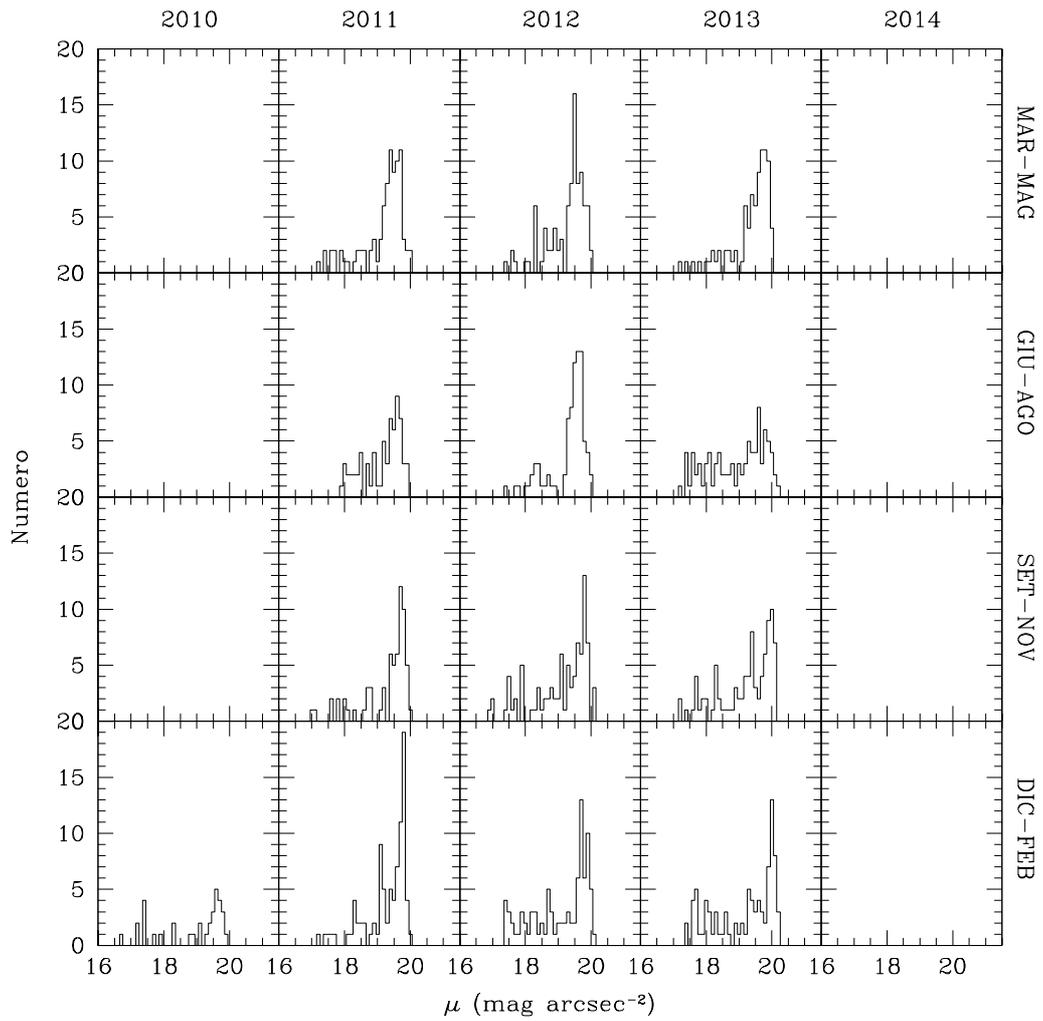


Figura 5: Distribuzione trimestrale dei massimi per la stazione di Nove (VI). Il bin adottato è di $0.10 \text{ mag} \cdot \text{arc sec}^{-2}$.

Con i dati della Tabella 3 è stato possibile ottenere il fit visualizzato in Fig. 6.

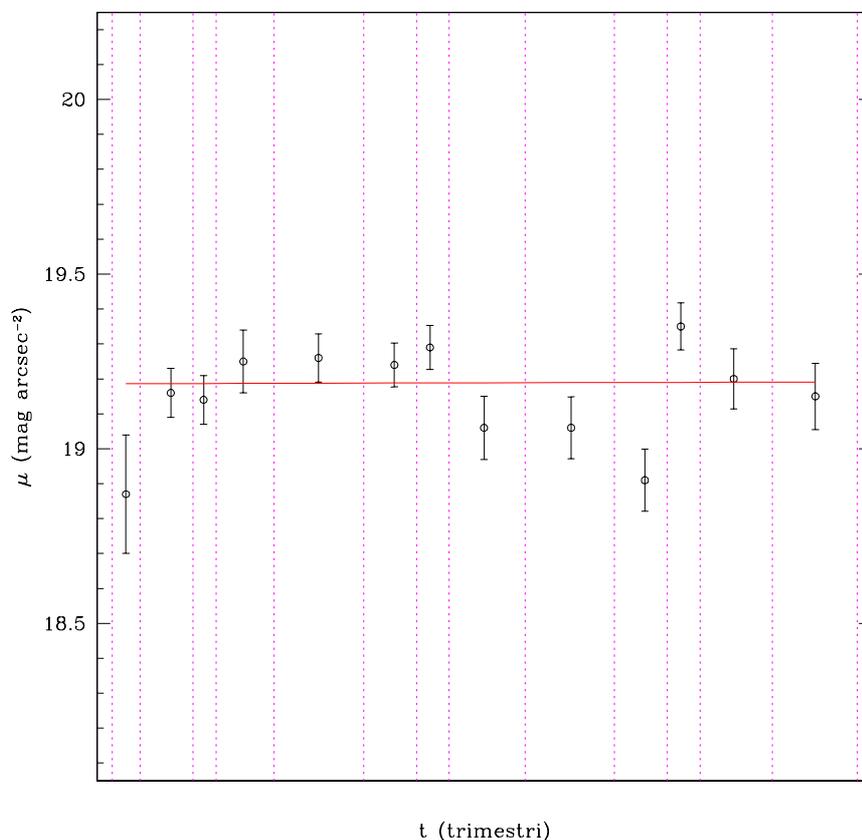


Figura 6: Andamento delle medie trimestrali per la centralina di Nove (VI). Le linee tratteggiate delimitano i diversi periodi.

La retta orizzontale denota una qualità del cielo costante per tutto il periodo considerato: nell'arco di tre anni non vi è stato nè un miglioramento nè un peggioramento delle misure.

E da notare che l'altra centralina vicentina, di Montebello Vicentino (VI), presenta un andamento lievemente calante. La distanza di $\sim 50 km$ tra i due paesi non permette però di correlare i dati tra le due SQM che devono dunque essere trattate separatamente.

Per ora, quello che si può concludere riguardo questa stazione è che l'IL non ha subito variazioni nel lasso di temporale in cui sono state raccolte le misurazioni del fondo cielo.

7 Centralina di Scandriglia (RI)

La centralina di Scandriglia (RI) ha raccolto tra il 31-01-12 e il 28-02-14 **31459** valori. Fino al 16-02-11 l'SQM era programmata per produrre una misura ogni dieci minuti, successivamente è stata impostata per ottenere le misure ogni quindici minuti.

La ricerca dei massimi per ogni data ha portato a **677** valori che spaziano da 23.79 a 18.48 $mag \cdot arc\ sec^{-2}$.

La centralina di Scandriglia (RI) presenta alcune misure estremamente elevate e non plausibili: sono più di 20 le misure comprese tra 23.79 e 21.72 $mag \cdot arc\ sec^{-2}$. Solamente nei deserti dove sono costruiti i più grandi telescopi del mondo si possono raggiungere misure di $\approx 21.5 mag \cdot arc\ sec^{-2}$ in banda V⁷, quindi questi valori misurati a Scandriglia (RI) sono da scartarsi a priori.

La ricerca dei massimi veri, cioè raggiunti con continuità, ha portato ad escludere una parte consistente dei valori registrati, che appaiono per lo più come picchi isolati, separati anche da 0.15 $mag \cdot arc\ sec^{-2}$ dai valori adiacenti.

Complessivamente, l'insieme dei dati dalla stazione reatina presenta delle misure molto fluttuanti (siano esse riferite ai massimi giornalieri o meno), sintomo di un rilevatore malfunzionante o sottoposto a intermittenti e continui cambi di luminosità.

Per questo motivo non sono presentati i risultati inerenti a tale centralina.

⁷Ragionevolmente la stessa banda utilizzata dalle centraline aderenti al CORDILIT. Si ricorda che il fondo cielo diventa più luminoso spostandosi verso filtri più rossi.

8 Centralina di Vittorio Veneto (TV)

La centralina di Vittorio Veneto (TV) ha raccolto tra il 21-09-11 e il 11-02-14 **78014** valori, compiendo una misura del fondo cielo ogni cinque minuti.

La ricerca dei massimi per ogni data ha portato a **645** valori che spaziano da 25.65 a 16.33 $mag \cdot arc \ sec^{-2}$.

Per quanto detto nell'analisi della centralina di Scandriglia (RI), sono da escludersi i valori al di sopra di 21.50 $mag \cdot arc \ sec^{-2}$.

Esclusi i falsi massimi, si è costruita la tabella 4 dove sono visualizzate le statistiche relative alla stazione trevigiana divise per ogni trimestre mentre, in Fig. 7, sono rappresentate le distribuzioni dei massimi.

Tabella 4: Media, dispersione e numero di dati validi per trimestre.

Trimestre	$\langle \mu \rangle$ ($mag \cdot arc \ sec^{-2}$)	σ_μ ($mag \cdot arc \ sec^{-2}$)	N
SET-NOV 2011	20.10	0.75	65
DIC-FEB 2011	20.09	0.86	73
MAR-MAG 2012	20.03	0.83	77
GIU-AGO 2012	19.94	0.69	68
SET-NOV 2012	20.24	0.09	2
DIC-FEB 2012	20.36	0.59	32
MAR-MAG 2013	20.07	0.74	60
GIU-AGO 2013	20.22	0.71	91
SET-NOV 2013	20.27	0.64	87
DIC-FEB 2013	20.46	0.65	70

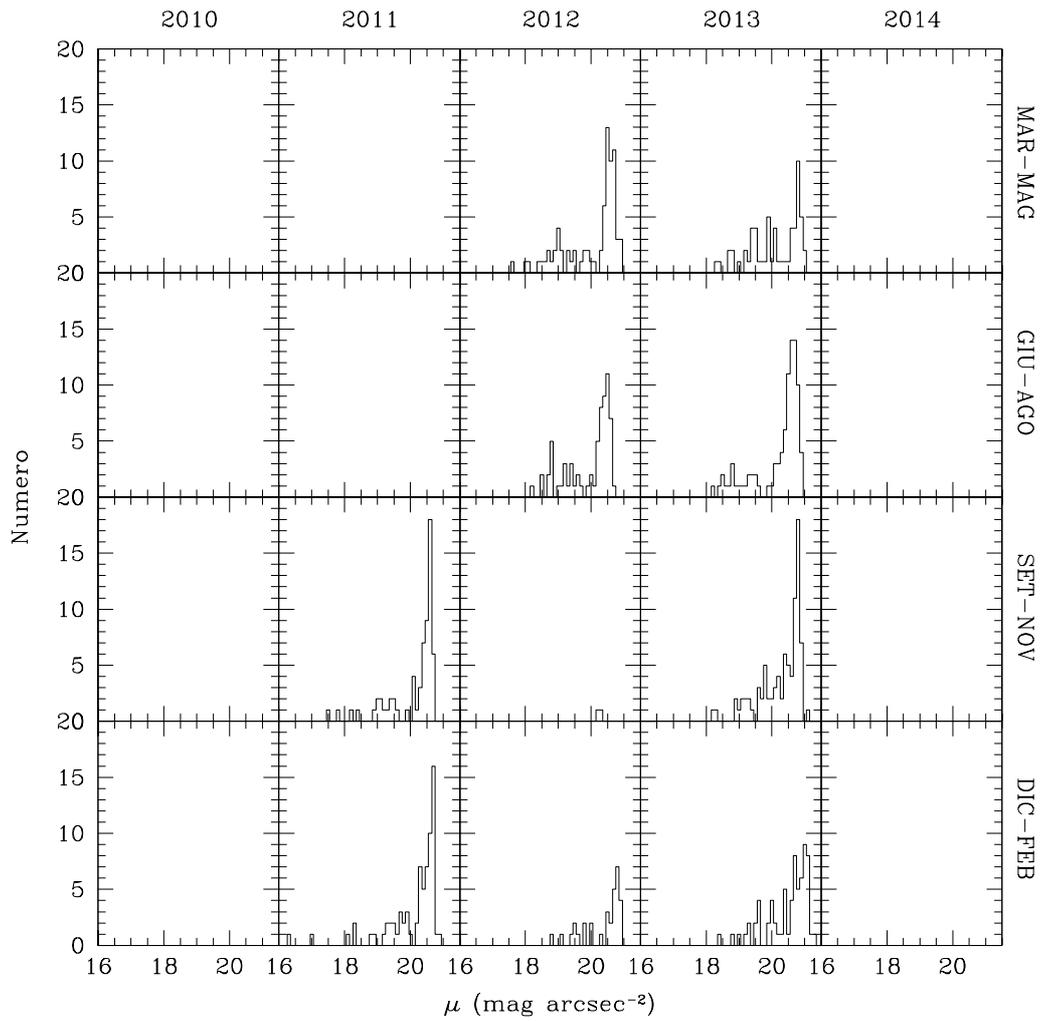


Figura 7: Distribuzione trimestrale dei massimi per la stazione di Vittorio Veneto (TV). Il bin adottato è di $0.10 \text{ mag} \cdot \text{arc sec}^{-2}$.

Con i dati della Tabella 4 è stato possibile ottenere il fit visualizzato in Fig. 8.

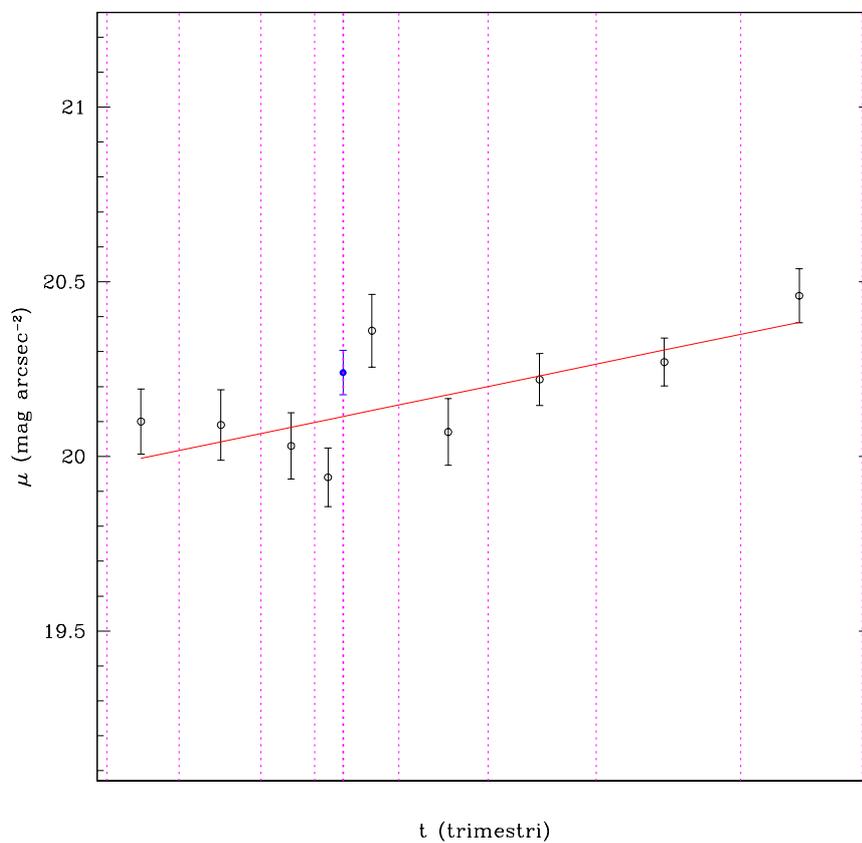


Figura 8: Andamento delle medie trimestrali per la centralina di Vittorio Veneto (TV). Le linee tratteggiate delimitano i diversi periodi, il punto blu è stato escluso dal fit perchè rappresenta un trimestre con meno di 30 misure.

La retta crescente dalla pendenza significativa dimostra un buon miglioramento della qualità del fondo cielo della stazione trevigiana.

Il campionamento delle misure risulta buono e la dispersione dei dati nei singoli trimestri non sembra indicare evidenti mutamenti climatici.

In questo caso il guadagno di quasi $0.4 \text{ mag} \cdot \text{arcsec}^{-2}$ in circa due anni e mezzo di misure potrebbe essere attribuito ad una regressione dell'IL

9 Conclusioni

Tra tutte le stazioni aderenti al CORDILIT, si sono analizzati i dati delle centraline di Castiglioncello (LI), Lendinara (RO), Nove (VI), Montebello Vicentino (VI), Scandriglia (RI) e Vittorio Veneto (TV).

Per ognuna di queste stazioni si sono cercate tutte le misure disponibili inerenti al periodo che va dal dicembre 2010 al febbraio 2014, dalle quali si sono estrapolate le medie trimestrali delle misure massime giornaliere (escludendo i massimi non raggiunti con continuità di misure).

Con questi dati sono stati ottenuti gli istogrammi relativi alla distribuzione dei massimi per ogni trimestre e i grafici che evidenziano come i loro valori medi evolvono trimestre per trimestre. Con questi punti è stato effettuato un fit lineare che mostra la tendenza, calante o crescente, della qualità del fondo cielo.

A causa di un probabile malfunzionamento delle SQM di Lendinara (RO) e di Scandriglia (RI), i dati di tali stazioni sono stati ritenuti inaffidabili, pertanto non analizzati.

La stazione di Castiglioncello (LI) presenta un miglioramento delle misure recenti; tuttavia, il campionamento ridotto a poco più di anno di rilevazioni non può permettere un'analisi conclusiva.

La centralina di Montebello Vicentino (VI) presenta un andamento lievemente decrescente dei dati che potrebbe essere attribuito ad un lento aumento dell'IL; tuttavia, soltanto le misurazioni future saranno in grado confermare o smentire questa ipotesi. Invece, l'altra stazione vicentina, di Nove (VI), non evidenzia alcuna variazione della bontà dei cieli notturni nell'arco di tempo considerato. Si conclude che nell'area vicentina l'IL non ha subito variazioni significative negli ultimi anni.

I dati relativi alla stazione di Vittorio Veneto (TV) dimostrano un buon miglioramento delle misure di fondo cielo. Un tale risultato, derivante da quasi tre anni di rilevazioni, può essere attribuito ad una riduzione dell'IL.

Purtroppo il numero di centraline su cui è stata effettuata l'analisi è ridotto e riguarda prevalentemente stazioni del Veneto. Fortunatamente, altre stazioni stanno aderendo al CORDILIT, espandendo e aumentando il raggio di azione e il flusso di dati utili per il monitoraggio dell'IL.

Con il fine di ridurre al minimo l'IL è necessario tenere sotto controllo ed analizzare periodicamente i dati delle centraline, con l'auspicio che molte altre SQM vengano installate in diverse cittadine italiane. In tale maniera sarà possibile avere un controllo il più omogeneo possibile del fenomeno in questione.

Ringraziamenti Si vuole ringraziare la Prof.ssa Paola Focardi per gli utili consigli forniti ai fini della trattazione ed analisi dei dati.