

MISURARE LA BRILLANZA DEL CIELO CON IL CCD

Un progetto dell'International Dark-Sky Association

Fabio Falchi

Pierantonio Cinzano

(Relazione presentata al [XIII°](#) Convegno del [GAD](#) –Monsummano Terme – ott. 2000)

Abstract

Questo è un invito agli astrofili a collaborare con noi ad un progetto scientifico internazionale che ha lo scopo di raccogliere un gran numero di misure della brillantezza ed estinzione del cielo notturno nelle principali bande fotometriche. Il progetto fa parte delle attività scientifiche dell'International Dark-Sky Association. Esso è stato proposto ed è gestito dalla Sezione Italiana dell'IDA.

Proponiamo agli astrofili che abbiano a disposizione una camera CCD, un piccolo telescopio e uno o più filtri standard UBVR di partecipare al nostro gruppo di studio facendo accurate misure di brillantezza ed estinzione del cielo per un elevato numero di notti e, nel caso di strumenti trasportabili, in differenti siti. Questo permetterà di ottenere, per ogni sito, la relazione tra brillantezza del cielo e condizioni atmosferiche. Progettiamo di pubblicare i risultati su un giornale professionale in un articolo in cui tutti gli osservatori attivi prendano parte come coautori, se le misure saranno in numero sufficiente e di qualità adeguata.

Misurare la brillantezza del cielo è importante per diverse ragioni:

- Per dare un contributo notevole allo studio scientifico dell'inquinamento luminoso
- Per ottenere informazioni sullo stato attuale della situazione
- Per controllare l'efficacia delle nuove leggi e regolamenti recentemente approvati
- Per misurare l'andamento nel tempo del fenomeno
- Per capire meglio il fenomeno al fine di mettere a punto i modi più efficaci per combatterlo.

Introduzione

Questo è un invito agli astrofili a collaborare con noi ad un progetto scientifico internazionale che ha lo scopo di raccogliere un gran numero di misure della brillantezza ed estinzione del cielo notturno nelle principali bande fotometriche. Il progetto fa parte delle attività scientifiche dell'International Dark-Sky Association. Esso è stato proposto ed è gestito dalla Sezione Italiana dell'IDA.

Molti studi dell'inquinamento luminoso e della brillantezza artificiale del cielo richiedono grandi quantità di misure della brillantezza stessa che, per essere utili, devono essere accompagnate dalla conoscenza delle condizioni atmosferiche al momento delle misure. L'estinzione verticale è uno dei parametri più facili da misurare per valutare il contenuto di aerosoli nell'atmosfera.

Noi proponiamo agli astrofili che abbiano a disposizione una camera CCD, un piccolo telescopio e uno o più filtri standard UBVR di partecipare al nostro gruppo di studio facendo accurate misure di brillantezza ed estinzione del cielo per un elevato numero di notti e, nel caso di strumenti trasportabili, in differenti siti. Questo permetterà di ottenere, per ogni sito, la relazione tra brillantezza del cielo e condizioni atmosferiche. Le misure devono essere accompagnate da: data, ora, zona del cielo misurata in coordinate equatoriali ed altazimutali. Saranno utili anche misure non solo allo zenit, ma anche in altre parti del cielo, seguendo un comune metodo di campionamento.

Noi, avendo già fatto misure di questo tipo, siamo a disposizione per discutere le tecniche da usare e i risultati con chi desidera collaborare, in modo da utilizzare un metodo comune a tutti gli osservatori. Vorremmo creare alcuni sotto gruppi, ognuno con un osservatore esperto che funga da guida per gli altri.

Progettiamo di pubblicare i risultati su un giornale professionale in un articolo in cui tutti gli osservatori attivi prendano parte come coautori, se le misure saranno in numero sufficiente e di qualità adeguata.

Gli interessati possono contattare Fabio Falchi (falchifa@tin.it).

Tecnica operativa

Per ottenere misure di brillantezza del cielo notturno con un piccolo telescopio, una camera CCD e filtri fotometrici standard si può seguire questa procedura:

- Non è necessario che la notte sia particolarmente limpida, infatti vogliamo ottenere misure effettuate in diverse condizioni di trasparenza. E' necessario però che le condizioni meteorologiche siano costanti durante le misure e che non ci siano nubi, veli o foschie. La Luna dovrebbe essere ben sotto l'orizzonte ($h < -10^\circ$) durante le misure di brillantezza del cielo.
- Se possibile evitare siti con sorgenti di luce più vicine di circa 500 metri. All'interno delle città un parco non illuminato potrebbe essere una buona scelta.
- Scegliere una o più zone, includendo sempre lo zenit, dove misurare la brillantezza. Per esempio: zenit, 8 zone a 45° d'altezza equamente separate in azimut, 12 zone a 20° d'altezza ogni 30° di azimut.

- Scegliere alcune (almeno una decina, se possibile) stelle standard fotometriche (vedi Johnson, H.L., 1963, in Basic Astronomical Data, ed. K.A. Strand, Univ. Chicago Press, pag.204; oppure, per stelle più deboli: Landolt, A.U., 1992, The Astronomical Journal, 78, 959) a differenti altezze (da vicino allo zenit fino a meno di 30° d'altezza). Particolarmente utili sono le stelle sopra i 60° e quelle sotto i 30° di altezza. Se possibile scegliere una stella vicino ad ogni zona di cielo da misurare.
- Riprendere immagini delle stelle standard e determinarne l'altezza (ad es. utilizzando uno degli appositi programmi per PC). Riprendere le immagini delle zone di cielo prescelte. Se il tempo occorso per riprendere tutte le immagini lascia sospettare che le condizioni di trasparenza possano essere cambiate occorre rimisurare le stelle standard per determinare un secondo coefficiente di estinzione. Il coefficiente da usare sarà quindi la media dei due. Fare attenzione a registrare l'altezza, la longitudine e la latitudine del sito d'osservazione nel modo più accurato possibile (almeno a meno di 15" d'arco), la data, l'ora e la durata di ogni esposizione (probabilmente il software di controllo della camera CCD lo può fare automaticamente; in questo caso ricordarsi di sincronizzare l'orologio del computer con un segnale orario sicuro), coordinate equatoriali e altazimutali delle zone di cielo e delle stelle misurate (consigliamo di farlo in sede di riduzione dei dati usando uno degli appositi programmi per PC). Annotare le condizioni meteorologiche.
In dettaglio:
 - a) scegliere le bande fotometriche da studiare e montare i filtri appropriati
 - b) Ottenere un flat di riferimento; ottenere i dark necessari per le immagini delle stelle
 - c) Fare le esposizioni delle stelle standard. Fare estrema attenzione a non saturare alcun pixel.
 - d) Ottenere i dark per le immagini del fondo cielo.
 - e) Fare le esposizioni nelle zone di cielo prescelte. Non includere nelle immagini stelle brillanti.
- Ridurre le immagini usando la seguente procedura standard:
 - a) da ogni immagine grezza sottrarre il dark ottenuto con lo stesso tempo di integrazione (si assume che il bias sia incluso nel dark)¹. Dal flat (che dovrebbe essere la media di diversi flat) sottrarre il dark appropriato. Dividere l'immagine grezza (da cui avevamo già sottratto il dark) per il flat normalizzato al valore medio (normalmente questa normalizzazione è operata automaticamente nell'azione standard 'dividi per il flat' nel software di controllo del CCD).
 - b) Nelle pose relative alle stelle misurare i conteggi totali della stella usando un'area che copra sicuramente l'immagine della stella (spesso le parti più esterne dell'immagine della stella appaiono nere anche se in realtà includono conteggi relativi alla stella stessa). Sottrarre i conteggi dovuti al cielo ricavati da un'area uguale sulla stessa immagine, ma dove vi sia solo il fondo cielo. Scalare i conteggi al tempo di un secondo.
 - c) Nelle immagini del cielo misurare i conteggi totali dei pixel in un'area senza stelle. Calcolare l'area misurata in secondi d'arco quadrati (arcsec²). Scalare i conteggi misurati in quell'area all'area di un secondo d'arco quadrato. Scalare poi a un secondo d'esposizione.
- Per ogni banda studiata, ottenere il fattore di scala fotometrico e l'estinzione in questo modo:
 - a) Per ogni stella standard calcolare le masse d'aria $x=1/\cos z$, dove z è la distanza zenitale. Per altezze molto basse ($h < 20^\circ$, cioè distanze zenitali $z > 70^\circ$) è più accurato usare la seguente formula: $x = \sec z (1 - 0.0012 \tan^2 z)$. Calcolare anche la variabile $y = m_{cat} + 2.5 \log I_{star}$, dove m_{cat} è la magnitudine della stella e I_{star} i conteggi in un secondo.
 - b) Mettere in un grafico y in funzione di x e ottenere la retta interpolante $y = a + bx$, come in figura 1. Se possibile calcolare anche gli errori.
 - c) Il fattore di scala fotometrico C è $C = a$ e il coefficiente di estinzione² k è $k = -b$
- Calcolare la brillantezza delle zone di cielo misurate con: $m_{sky} = C - 2.5 \log I_{sky}$, dove I_{sky} indica i conteggi al secondo per secondo d'arco quadrato.
- Ogni misura dovrebbe essere accompagnata da tutte le informazioni necessarie, quali: l'apertura, la focale e il tipo di telescopio, la camera CCD usata, posizione geografica (altezza, longitudine e latitudine) del sito osservativo, data e ora, coefficiente di estinzione in ogni banda misurata, coordinate equatoriali e altazimutali delle zone di cielo misurate e la loro brillantezza banda per banda. Includere anche una stima della magnitudine delle stelle più deboli visibili nelle immagini del cielo e le dimensioni dell'area utilizzata per le misure di brillantezza. Se disponibile, riportare anche la fase del ciclo solare.

¹ Se il CCD usato permette il salvataggio dei bias, non è necessario che i dark siano della stessa durata delle esposizioni delle immagini grezze (sul cielo e sulle stelle). Si può sottrarre il bias, riscaldare il dark al tempo di esposizione usato sulla stella o sul cielo e poi sommare ancora il bias. Comunque, per ridurre il rumore, il dark deve essere preso con un tempo di integrazione comparabile con quello dell'esposizione delle immagini grezze. Mediando più dark esposti per lo stesso tempo il rumore viene ridotto ulteriormente.

² Infatti, la magnitudine apparente di una stella "sotto l'atmosfera" è $m_{app} = m_{cat} + k/\cos z = C - 2.5 \log I_{star}$, dove k è il coefficiente di estinzione in magnitudini per massa d'aria e C è il fattore di scala fotometrico. Da questa formula otteniamo che $C - k/\cos z = m_{app} - 2.5 \log I_{star}$, così che $y = C - kx$. Il fattore di scala fotometrico è $C = a$ e il coefficiente di estinzione $k = -b$

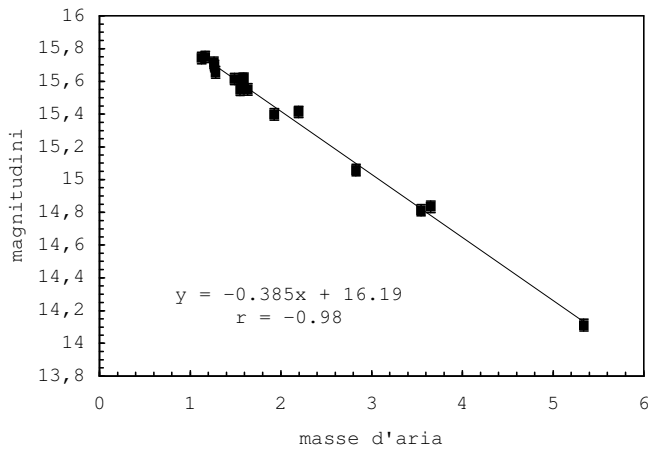


Fig.1 In questo esempio il coefficiente di estinzione è $k=0.385$ in magnitudini per masse d'aria e il fattore di scala fotometrico è $C = 16.19$ magnitudini.

Stella	α (2000)	δ (2000)	Tipo spettrale	Magnitudine B	Magnitudine V
β Lib	15h 17m 0s	- 09° 22' 58"	B8 V	2.50	2.61
τ Her	16h 19m 41.8s	+46° 18' 45"	B5IV	3.74	3.89
α Ari	19h 30m 43s	+27° 57' 34"	K2 III	3.15	2.00
α Ser	15h 44m 16.0s	+06° 25' 32"	K2 III	3.82	2.65
γ Peg	00h 13m 14.1s	+15° 11' 01"	B2 IV	2.60	2.83
δ Cas	01h 25m 48.9s	+60° 14' 08"	A5 V	2.81	2.68
β Ari	01h 54m 38.4s	+20° 48' 28"	A5 V	2.78	2.65
γ Ori	05h 25m 7.8s	+06° 20' 58"	B2 III	1.41	1.64
β Tau	05h 26m 17.4s	+28° 36' 26"	B7 III	1.52	1.65
γ Gem	06h 37m 42.7s	+16° 23' 56"	A0 IV	1.93	1.93
ϵ Ori	05h 36m 12.6s	- 01° 12' 06"	B0 Ia	1.51	1.70
α Leo	10h 08m 22.3s	+11° 58' 01"	B7 V	1.25	1.36
β Leo	11h 49m 3.5s	+14° 34' 18"	A3 V	2.23	2.14
γ Uma	11h 53m 49.9s	+53° 41' 42"	A0 V	2.44	2.44
δ Uma	12h 15m 25.4s	+57° 01' 57"	A3 V	3.39	3.31
η Boo	13h 54m 38.3s	+18° 24' 01"	G0 IV	3.27	2.69
γ Ser	15h 56m 27.1s	+15° 39' 41"	F6 V	4.33	3.85
α Oph	17h 34m 56.1s	+12° 33' 36"	A5 III	2.23	2.08
β Oph	17h 43m 28.3s	+04° 34' 02"	K2 III	3.93	2.77
γ Lyr	18h 58m 56.5s	+32° 41' 23"	B9 III	3.20	3.25
α Aql	19h 50m 46.9s	+08° 52' 06"	A7 IV-V	0.99	0.77
β Aql	19h 55m 18.7s	+06° 24' 24"	G8 IV	4.57	3.71
α Del	20h 39m 38.3s	+15° 54' 43"	B9 V	3.71	3.77
α Peg	23h 04m 45.6s	+15° 12' 18"	B9 V	2.44	2.49

Tab.1. Alcune stelle standard.