

Fotometria all-sky e calibrazione di una sequenza di confronto

Ulisse Munari

INAF, Istituto Nazionale di Astrofisica
Osservatorio Astronomico di Padova ad Asiago

Riassunto. *Le procedure per la fotometria all-sky sono brevemente descritte per arrivare a definire una via molto semplificata utilizzabile per la calibrazione di una sequenza fotometrica in un campo sprovvisto di magnitudini e colori da catalogo.*

In condizioni di cielo sereno e stabile, condizioni che si incontrano regolarmente in siti astronomici di alta qualità come le Ande cilene, le osservazioni fotometriche vengono usualmente condotte esponendo sugli oggetti di interesse inframezzati da osservazioni di campi standard. Questi ultimi dipendono dal sistema fotometrico scelto. Supponendo sia l'UBVR_CIC di Johnson-Cousins, i campi standard sono generalmente quelli di Landolt (attorno all'equatore celeste e a declinazione +45), eventualmente associati alle regioni E di Cousins per osservatori dell'emisfero australe.

In questa modalità, detta *all-sky photometry* (brevemente ASPH), non si dipende dalla presenza o meno di una sequenza fotometrica attorno alla variabile. Questa è sostituita dalla osservazione delle sequenze fotometriche nelle aree standard distribuite su tutto il cielo. La procedura ha pro e contro.

I pro sono ovviamente l'essere svincolati dalla disponibilità di una sequenza già precedentemente calibrata, e da eventuali errori commessi su questa (sui quali non varemmo facile controllo). Anche l'eventuale presenza di variabili sconosciute attorno all'oggetto di interesse (che potrebbero entrare a far parte di una sequenza fotometrica locale) non dà fastidio, essendo le standard di Landolt rimisurate per centinaia di notti da Landolt stesso per essere sicuro non ci siano variabili nascoste in mezzo (in realtà una c'era, una variabile ad eclisse scoperta da Hipparcos).

I contro sono vari: (a) poiché ogni notte viene calibrata a parte, e' come se ogni notte la sequenza fotometrica venisse un po' cambiata, ed ogni differenza da notte a notte copiata sulla variabile; (b) osservatori diversi usano, pur nella stessa notte, calibrazioni locali necessariamente diverse, e queste diversità riverberano sulla variabile; (c) molto del tempo viene usato ad osservare campi standard per la calibrazione della trasmissione del cielo, invece che osservare gli oggetti di interesse (Cousins raccomandava di spendere 2/3 del tempo sui campi di Landolt e solo 1/3 sugli oggetti di interesse). Con una sequenza fotometrica locale, questa viene osservata assieme alla variabile, senza i *tempi morti* delle pose a parte; (d) i calcoli necessari alla riduzione dati sono ben più complessi di quelli nel caso si disponga di una sequenza fotometrica locale; (e) solo il giorno dopo, in sede di riduzione dati, si può verificare che la notte sia stata effettivamente stabile dal punto di vista fotometrico (non solo serena. Basta anche un cambio della umidità - che non si nota ad occhio nudo - per cambiare la trasmissione atmosferica e quindi magnitudini e colori). Se risulta che la notte non è stata fotometricamente stabile, non c'è un modo semplice per provare a salvare i dati raccolti ed ottenere comunque la fotometria delle variabili osservate. I fattori killer sono ovviamente "c" ed "e".

C'è comunque un caso frequente per il quale è necessario ricorrere alla fotometria all-sky: dover calibrare una sequenza fotometrica attorno ad una variabile che ne è sprovvista.

In questo caso la sequenza fotometrica poi adottata sarà costituita dai valori medi (meglio mediani) di magnitudini e colori delle stelle di campo come determinati indipendentemente in più notti, e magari anche da osservatori/telescopi/siti diversi. L'osservazione su più notti (almeno tre ben distanziate nel tempo, ma sperabilmente di più) ha anche il beneficio di individuare la presenza di eventuali variabili di campo, ovviamente da evitare nel definire la sequenza fotometrica locale.

Esistono varie formulazioni matematiche possibili delle equazioni di calibrazione di una notte di fotometria all-sky. Le principali variabili considerate sono la massa d'aria, il tempo (nel senso dell'ora segnata dall'orologio), e l'intervallo di colore coperto dalle stelle delle aree standard. In trattazioni sofisticate si può anche considerare l'azimuth. L'effetto della massa d'aria nella attenuazione del flusso e nell'arrossamento dei colori è ovvio. Una dipendenza dall'azimuth potrebbe verificarsi ad es. per un telescopio posto alla separazione tra una zona desertica ed una coperta da foresta (la quantità di umidità nell'aria sopra le due zone è ovviamente molto diversa), o situato sulla costa con vento prevalente allineato con la costa. La dipendenza dal tempo la possiamo immaginare come ad es. dovuta ad un cielo sereno ma che cambia lentamente e monotonamente la sua trasparenza nel corso della notte. La dipendenza dall'intervallo di colore delle stelle delle aree standard, la possiamo immaginare ad es. considerando che nelle aree di Landolt osservate a piccole masse d'aria c'erano sempre dentro stelle molto blu e mancavano quelle molto rosse, e viceversa in quelle osservate a grandi masse d'aria mancavano le stelle molto blu mentre erano presenti in abbondanza quelle molto rosse.

Le probabilità di avere, in un sito osservativo dell'Europa continentale, per una notte intera le condizioni di sereno e stabilità per avere condizioni di AS-Ph, sono francamente basse. Come termine di confronto, possiamo considerare che circa la metà delle notti osservate dalla survey APASS dai due siti a sud (Cerro Tololo, Ande cilene) e a nord (Nuovo Messico), sono poi risultate in sede di riduzioni dati non fotometriche nel senso AS-Ph, e non sono state utilizzate nel calcolo dei valori BV_{gri} attribuiti dalla survey APASS alle stelle del proprio catalogo.

Rimane però pur sempre la necessità di calibrare una sequenza attorno ad una nuova variabile quando questa non sia ricavabile da cataloghi pre-esistenti, o l'estensione a bande non coperte (come potrebbe essere per la banda "U" o la "z" non coperte da APASS). C'è una possibilità semplificata di all-sky photometry che può servire al caso. Per aumentare le chances di successo, va provata quando l'area da calibrare è preferibilmente alla massima altezza sull'orizzonte, il Meteosat + previsioni del tempo promettono tempo stabile per la notte, il controllo visivo della trasparenza del cielo suggerisce condizioni stabili per tutto il tempo necessario alla procedura. Se poi l'umidità è pure bassa, ancora meglio.

In questa modalità consideriamo solo la dipendenza dalla massa d'aria, ed ignoriamo il resto. Supponiamo di aver osservato un'area di Landolt a $\delta \sim +45^\circ$ mentre transitava allo zenith, quindi a massa d'aria $X_{zen} \sim 1.00$, e poi subito dopo una equatoriale ($\delta \sim 0^\circ$) al passaggio in meridiano, quindi a massa d'aria $X_{equ} \sim 1.41$. Nel mezzo, abbiamo osservato il campo da calibrare, ad una massa d'aria X_{obj} compresa tra questi due valori (ad es. 1.20). Le stelle del primo campo di Landolt definiranno le usuali rette:

$$V - v = \alpha_{zen}(b - v) + \beta_{zen} \quad (1)$$

$$B - V = \gamma_{zen}(b - v) + \delta_{zen} \quad (2)$$

e similmente per le altre bande e colori, mentre le stelle del secondo campo di Landolt si disporranno lungo le rette

$$V - v = \alpha_{equ}(b - v) + \beta_{equ} \quad (3)$$

$$B - V = \gamma_{equ}(b - v) + \delta_{equ} \quad (4)$$

In generale saranno stati utilizzati tempi di posa diversi sui due campi di Landolt (e diverso ancora su quello da calibrare), e quindi le magnitudini strumentali (lettere in minuscolo) andranno scalate ad un tempo di posa uguale per tutti, o meglio a quello unitario.

Due punti definiscono una retta, quindi con questi valori abbiamo la dipendenza lineare di α , β , γ e δ dalla massa d'aria, ovvero:

$$\alpha = m_\alpha \times X + n_\alpha \quad (5)$$

$$\beta = m_\beta \times X + n_\beta \quad (6)$$

$$\gamma = m_\gamma \times X + n_\gamma \quad (7)$$

$$\delta = m_\delta \times X + n_\delta \quad (8)$$

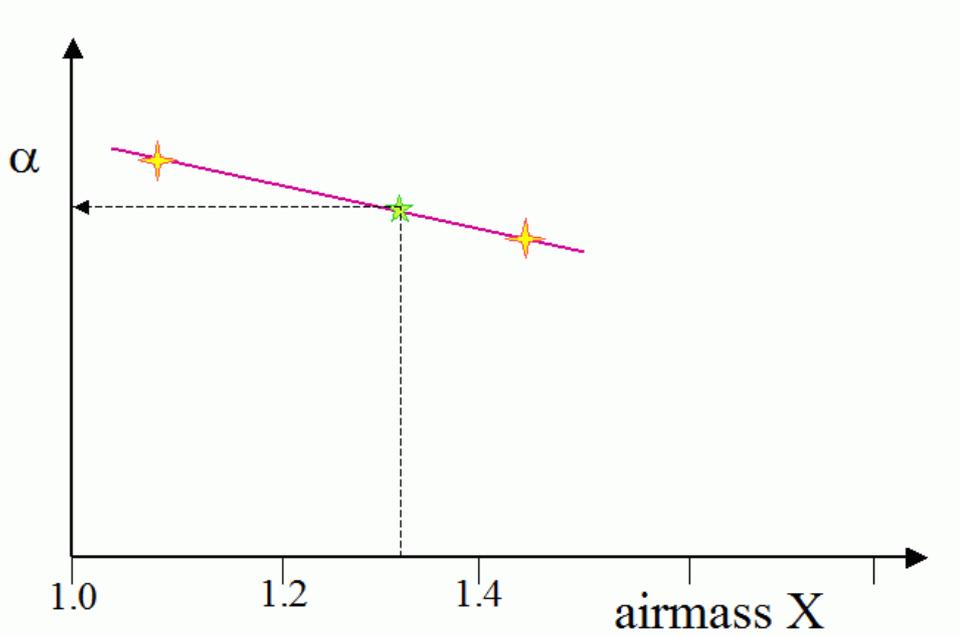


Fig. 1: Definizione di α nell'Eq.(5). Similmente per gli altri parametri.

In queste equazioni bastera' sostituire ad X il valore della massa d'aria del campo da calibrare per poter scrivere ed usare le relazioni

$$V - v = \alpha_{\text{obj}}(b - v) + \beta_{\text{obj}} \quad (9)$$

$$B - V = \gamma_{\text{obj}}(b - v) + \delta_{\text{obj}} \quad (10)$$

da usare nella calibrazione del nuovo campo (e similmente per le altre bande e colori).

Abbiamo lavorato correttamente? Le approssimazioni fatte sono ragionevoli? e soprattutto, la trasparenza cielo (nelle varie bande) e' rimasta costante nel tempo necessario ad osservare le due aree di Landolt e nel mezzo il campo da calibrare? Questo lo sapremo solo confrontando le magnitudini ed i colori ricavati via via in diverse notti per le stelle del campo da calibrare (e magari da osservatori/telescopi diversi che lavorino indipendentemente). In condizioni ideali e corrette dovrebbero essere molto simili da notte a notte.

Se il campo da calibrare fosse a declinazione negativa, come campi di Landolt a masse d'aria maggiori e minori di quella del campo da calibrare (ad es. $X=1.7$), conviene prendere un campo equatoriale al passaggio in meridiano ($X=1.41$) ed un campo equatoriale mentre transita a 30° sull'orizzonte (e quindi a massa d'aria $X=2.0$). La calibrazione di campi ad altezze sull'orizzonte piu' basse di 30° (ovvero a masse d'aria $X \geq 2$) e' sconsigliata con la procedura semplificata qui usata, e risulta comunque difficile e dubbia anche con procedure piu' complesse.

Questa procedura semplificata e' gia' presente in ANS Photometry, e sara' a breve resa user-friendly per un uso comune entro ANS Collaboration.