

MAGNITUDINI: dalle strumentali alle standard

Lo scopo principale della fotometria è quello di ricavare il valore della magnitudine di qualsiasi oggetto in cielo.

Poiché le condizioni osservative e strumentali sono diverse, sarebbe impossibile che due osservatori diano dello stesso oggetto lo stesso identico valore della magnitudine. “Questo perché i dati fotometrici dipenderebbero dalla diversità di numerosi fattori (ottiche, rivelatori, condizioni di cielo, etc.).

Un primo passo è l'utilizzo di filtri standard, ovvero filtri con una “finestra” prefissata, che rendano pertanto comparabili le misurazioni eseguite in posti diversi con strumentazione differente e differenti condizioni di cielo. Il nostro osservatorio si avvale di due tipologie di filtri standard: quello UBV di Johnson Morgan, con l'estensione al rosso e all'infrarosso di Cousins, e quello più recente ugriz della SDSS, ottenuto con le ampie survey dell'osservatorio Apache Point Observatory, in New Mexico (www.sdss.org). Riservandoci di dedicare ampio spazio a tale standard, andiamo a vedere come si fa a passare dalle magnitudini strumentali a quelle standard.

I valori di magnitudine ricavati mediante fotometria di apertura o con l'adattamento del modello empirico di PSF sono ottenuti come **Magnitudine Strumentale**; essi sono infatti fortemente dipendenti dalla strumentazione utilizzata per la ripresa. Il che equivale a dire che sono completamente “inutili” se volessimo ricavarne dati di interesse astrofisico, poiché non conformi allo standard globalmente accettato.

Per passare dalla magnitudine strumentale a valori di magnitudine pubblicabili e confrontabili con analoghe misure di altri osservatori (e quindi non più dipendenti fortemente dalle condizioni operative dell'osservazione) è necessario effettuare la trasformazione in Magnitudine Standard, compensando due fenomeni che sono causa di inaccuratezza nelle stime fatte :

- 1) il fenomeno dell'**estinzione atmosferica** della massa d'aria per il quale l'atmosfera tra noi e la stella sotto misura introduce un disturbo sia attenuando che cambiando il colore della radiazione incidente;
- 2) la non perfetta corrispondenza dei filtri fotometrici usati alle bande standard definite da Johnson-Cousins e costituenti nella pratica lo standard di pubblicazione dei dati fotometrici (riconducibili a differenze strumentali e ottiche)

Analizziamo in dettaglio questi due fenomeni e le tecniche per tenerne conto nella stima della magnitudine.

Estinzione atmosferica

La massa d'aria dell'atmosfera che si trova tra l'osservatore e l'oggetto astronomico produce dal punto di vista ottico due effetti principali :

- attenua la radiazione in arrivo dalla stella, diffondendo una parte dei fotoni incidenti che non riescono a raggiungere lo strumento di misura,
- è permeabile selettivamente alle varie lunghezze d'onda delle radiazioni emesse dalla stella, per cui i fotoni relativi ad una certa lunghezza d'onda vengono maggiormente assorbiti rispetto agli altri e quindi la stella appare con diverso colore rispetto ad un osservatore fuori dall'atmosfera.

La somma di questi due fenomeni, nota come “extinction della massa d'aria”, è maggiore quando l'oggetto osservato è basso sull'orizzonte rispetto a quando esso è alto nel cielo e questo perché più è basso l'oggetto e maggiore è lo spessore dell'atmosfera che i fotoni dell'oggetto in esame sono costretti ad attraversare. La Magnitudine Strumentale da noi stimata è quindi un valore per difetto e

va aumentata sottraendo un opportuno termine che, effettuando questa compensazione, restituisce stime analoghe a quelle che farebbe un osservatore fuori dall'atmosfera.

Come prima detto, il fenomeno dell'Extinction dipende dall'altezza sull'orizzonte dell'oggetto osservato e risulta minimo allo zenith, perciò è utile definire sul piano verticale passante per lo zenith un angolo z misurato dallo zenith all'orizzonte (quindi con $z=0^\circ$ allo zenith e $z=90^\circ$ all'orizzonte) ed indicare con X la secante di questo angolo a cui è proporzionale l'attenuazione dovuta all'extinction $X = \sec z = (1 / \cos z)$.

X è detta "massa d'aria" ed il suo valore allo zenith $X = \sec(0^\circ) = 1$ rappresenta "1 massa d'aria" corrispondente al valore minimo dell'interferenza che opera l'atmosfera; valori superiori di z portano a valori della massa d'aria superiori.

Molte formule sono state proposte per esprimere $\cos z$ in funzione di parametri vari, ma risulta molto utile la formula seguente che è valida per $0^\circ \leq z \leq 60^\circ$ e quindi per $1 \leq X \leq 2$:

$$\cos z = \sin(\text{Lat}) \sin(\text{Decl}) + \cos(\text{Lat}) \cos(\text{Decl}) \cos(H)$$

dove Lat è la latitudine dell'osservatore, Decl è la declinazione ed H è l'angolo orario dell'oggetto osservato, proporzionale alla sua ascensione retta.

Il fenomeno dell'Extinction è molto complesso da modellare, a causa delle molte variabili coinvolte, ma l'attenuazione che produce interessa le bande U,B,V dei filtri standard usati, mentre nelle bande R e I esso è praticamente trascurabile. Come primo ordine di approssimazione il maggior contributo al fenomeno è proporzionale alla massa d'aria X dell'oggetto osservato mediante coefficienti di proporzionalità del primo ordine, che tengono conto dell'attenuazione dovuta alla massa d'aria e coefficienti del secondo ordine, che tengono conto della sua influenza sulla variazione di colore. Nell'uso che si fa normalmente i coefficienti del secondo ordine hanno però valori trascurabili e quindi, nella pratica, si utilizzano le seguenti relazioni approssimate (legge di Bouguer) :

$$\begin{aligned} v_o &= v - K'_v X \\ (\mathbf{b}-\mathbf{v})_o &= (\mathbf{b}-\mathbf{v}) - K'_{bv} X \\ (\mathbf{u}-\mathbf{b})_o &= (\mathbf{u}-\mathbf{b}) - K'_{ub} X \end{aligned}$$

Mediante queste relazioni, la Magnitudine Strumentale v e gli indici di colore $(\mathbf{b}-\mathbf{v})$ e $(\mathbf{u}-\mathbf{b})$ sono trasformati nei corrispondenti valori v_o , $(\mathbf{b}-\mathbf{v})_o$ e $(\mathbf{u}-\mathbf{b})_o$ della Magnitudine e degli Indici di Colore Siderali, depurati dall'Extinction.

Qual è il procedimento operativo? Si utilizzano campi di Landolt, ovvero campi di stelle fotometrate con grande accuratezza in una "cintura" tutta intorno all'equatore celeste, in modo che fossero visibili in qualunque posto del mondo e in qualunque stagione. Si seleziona un campo conveniente, ben visibile per tutto l'arco della nottata (quindi di A.R. opportuna) e si riprende tale campo per valori diversi di massa d'aria, e si riportano i grafici per le magnitudini (v_o vs v) e per i colori $[(\mathbf{b}-\mathbf{v})_o$ vs $(\mathbf{b}-\mathbf{v})]$, dai quali si ricavano la pendenza e l'intercetta della retta: la prima rappresenterà il coefficiente di estinzione, il secondo valore darà la magnitudine "fuori dall'atmosfera".

Questa procedura è nota come "all sky photometry", ed è indispensabile se all'interno del campo stellare d'interesse non vi siano "stelle standard di comparazione". Nel caso invece fossero note le magnitudini di una o più stelle nel campo, si parla di "fotometria differenziale". In tal caso ci sarebbe una notevole semplificazione del lavoro, poiché verrebbe a cadere l'effetto dell'atmosfera. Infatti, in questo caso si vede subito che essendo la massa d'aria praticamente la stessa per stelle della stessa immagine, si avrebbe che la differenza tra i valori di magnitudine siderale della stella in esame e quella di comparazione (di riferimento, con magnitudine standard nota) sarebbe uguale alla differenza tra le medesime magnitudini strumentali. In altri termini, le magnitudini siderali verrebbero a coincidere con le magnitudini strumentali.

Trasformazione in Magnitudine Standard

Le Magnitudini Siderali finora determinate sono fortemente dipendenti da come interviene sullo spettro della luce proveniente dalle stelle l'insieme degli strumenti di misura utilizzati e quindi l'ottica del telescopio, il sensore del CCD ed i filtri standard. La non perfetta trasmittività di questi strumenti per ciascuna delle bande spettrali standard U,B,V,R,I crea attenuazioni che falsano le stime del valore della magnitudine e degli indici di colore.

E' necessario quindi applicare alla Magnitudine ed agli Indici di Colore Siderali finora determinati una trasformazione che tenga conto di queste attenuazioni, compensandole per restituire un valore di magnitudine che viene detta Standard in quanto depurata da ogni influenza dello strumento di misura usato e confrontabile con analoghi valori misurati da altri osservatori con strumenti di misura diversi.

Anche per modellare queste diverse attenuazioni vengono usate relazioni lineari che fanno uso di **Coefficienti di Trasformazione**. Un set di relazioni molto usate sono le seguenti e permettono di trasformare le Magnitudini Siderali, indicate col pedice **o** in Magnitudini Standard, indicate con lettera maiuscola :

$$\begin{aligned}V &= v_0 + T_v (B - V) + Z_v \\(B - V) &= T_{bv} (b - v)_0 + Z_{bv} \\(U - B) &= T_{ub} (u - b)_0 + Z_{ub} \\(V - R) &= T_{vr} (v - r)_0 + Z_{vr} \\(R - I) &= T_{ri} (r - i)_0 + Z_{ri}\end{aligned}$$

I parametri Z rappresentano gli Zero Point che servono a tarare la scala della magnitudine standard. Essi devono essere determinati durante la stessa sessione osservativa, attraverso riprese di campi stellari con magnitudini note (campi Landolt).

I Coefficienti di Trasformazione Standard T citati nelle formule sono caratteristici degli strumenti utilizzati e quindi dell'insieme Telescopio + sensore a CCD + filtri standard. Essi sono abbastanza costanti nel tempo per cui possono essere calcolati una o due volte l'anno su riprese di campi di stelle Landolt (o comunque campi noti, come M67), con magnitudini ed indici di colore noti, invertendo le formule qui sopra riportate.

BIBLIOGRAFIA

Johnson, H. L.; Morgan, W. W. (1953), *Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the revised system of the Yerkes spectral atlas*, The Astrophysical Journal, vol. 117, pp. 313-352

Astronomical Photometry – Henden & Kaitchuck – Willmann Bell Publishing - 1982

Il CCD in astronomia, la luce discreta del cielo – Franchini, Pasi, Nicolini – speciale di Nuovo Orione

AAVSO CCD Observing Manual

<http://digilander.libero.it/astrogi/index.htm> Sito internet di Gianni Roselli, astrofilo ricercatore e amico, da cui sono state attinte alcune delle informazioni teoriche e tecniche dell'articolo, e a cui va un ringraziamento particolare per l'aiuto nella stesura del medesimo.