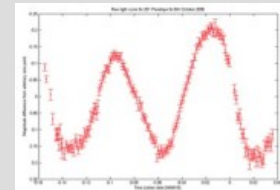
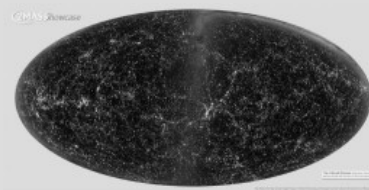
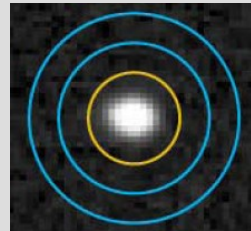


# Calibrazione al Sistema Fotometrico Standard



*7° MEETING SULLE STELLE VARIABILI SSV-UAI-GRAV*

*La Spezia, 14-15 Maggio 2011*



*Lorenzo Franco - A81 Balzaretto Observatory, Rome*

# Premessa

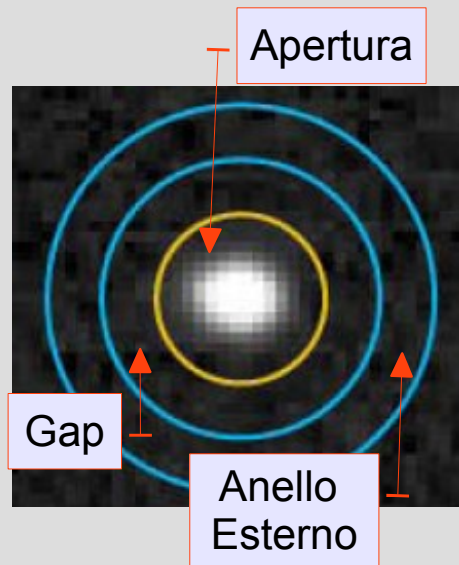
*Le misure fotometriche condotte con la propria strumentazione non sono direttamente confrontabili con quelle eseguite da altri osservatori. Parliamo infatti di **magnitudini strumentali** la cui validità, al limite, è confinata ad una singola sessione osservativa.*

*Per dare ai nostri dati una validità “**universale**” è necessario calibrare le nostre misure al **sistema fotometrico standard**.*

*In questa presentazione vedremo con quali **metodi** e con quale **accuratezza** saremo in grado di avvicinarci a questo ambizioso obiettivo.*

*Esistono diversi sistemi fotometrici standard. Fisseremo la nostra attenzione solo sul sistema fotometrico **B,V,R,I** di Johnson–Cousins.*

# Fotometria di Apertura (concetti di base)



La fotometria d'apertura consiste nel misurare il flusso luminoso di una stella all'interno di un' apposita area denominata **apertura**.

L'apertura misura il contributo della **stella** più il fondo cielo. L'anello esterno misura solo il **fondo cielo**.

Tipicamente il diametro dell'apertura dovrà essere **2-3 volte la FWHM** (misurata su diverse stelle).

## Magnitudine strumentale

$$m_{\text{strumentale}} = -2.5 \cdot \log(ADU_{\text{apertura}} - ADU_{\text{cielo}})$$

La magnitudine strumentale dipende dal setup e dalla sessione osservativa.

Es: stella+fondocielo = 30504 ADU  
fondocielo = 11984 ADU  
stella = (30504-11984) = 18520 ADU  
Magnitudine strumentale =  $-2.5 * \log_{10}(18520) = -10.67$

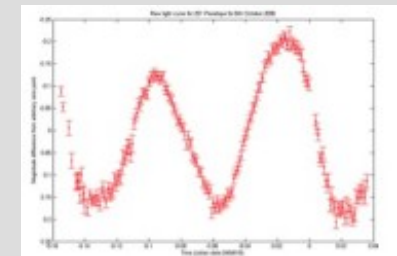
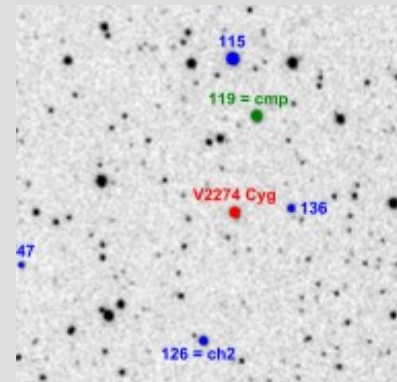
# Calibrazione Fotometrica (metodi)

*I metodi per la riduzione fotometrica al sistema standard sono sostanzialmente riconducibili ai seguenti due:*

- *Fotometria AllSky*



- *Fotometria Differenziale*



# Fotometria AllSky

## (qualche concetto)

La fotometria **AllSky** consiste nel misurare la magnitudine delle stelle in un'ampia area di cielo, senza alcuna limitazione di sorta. Per certi versi può essere considerata come la vera fotometria, infatti a volte viene chiamata anche **fotometria assoluta**.

Si tratta di una tecnica molto complessa che per essere eseguita al meglio richiede un **grande impegno** e necessita di **condizioni atmosferiche stabili** e perfette per tutta la notte (**notti fotometriche**).

Per poter determinare la magnitudine degli oggetti in studio è comunque necessario riprendere un buon numero di **immagini accessorie di calibrazione** su dei campi standard (**Landolt**), finalizzate alla determinazione dei coefficienti di trasformazione, al calcolo dei coefficienti di estinzione ed al calcolo del punto di zero della scala fotometrica.

Sotto i nostri cieli cittadini è molto difficile trovare “notti fotometriche”, pertanto dovremo cercare dei **metodi alternativi ... più semplici**.

La fotometria **AllSky** permette di raggiungere una accuratezza dell'ordine di **0.03 mag**, ed in rari casi, anche risultati migliori (0.01 mag).

# Fotometria Differenziale

## (qualche concetto)

*La fotometria **Differenziale** invece si limita ad una **piccola regione di cielo**, consentendo così di **trascurare** l'effetto dell' **estinzione atmosferica**, in quanto le stelle da confrontare si trovano tutte nello stesso campo inquadrato, solitamente di dimensioni inferiori al campo coperto dalla Luna piena.*

*Si tratta sostanzialmente di una tecnica largamente utilizzata per le osservazioni CCD, grazie anche alla **semplicità** con la quale può essere condotta. Non necessita dei campi di calibrazione e del calcolo dei coefficienti di estinzione. Permette di registrare variazioni anche di **millesimi** di magnitudine (basti pensare ai transiti dei pianeti extrasolari).*

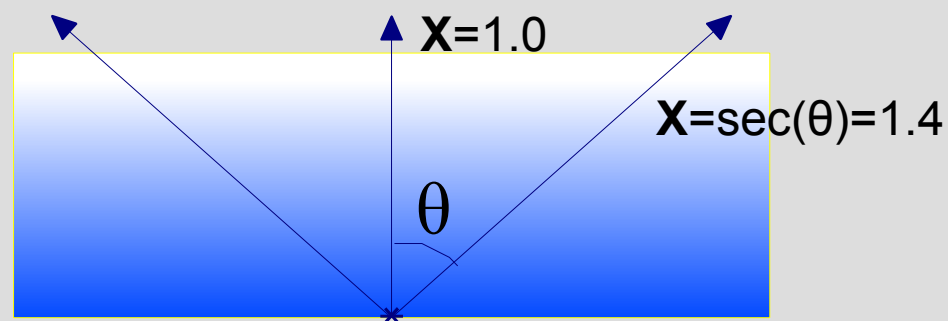
*Nonostante questa grande precisione, spesso le misure ottenute vengono riportate in **magnitudini differenziali** e non in magnitudini “standard” rispetto al sistema fotometrico (BVRI) e questo le rende meno confrontabili con quelle ottenute da altri osservatori.*

# Fotometria AllSky (estinzione atmosferica)

Vediamo adesso quali sono i passi principali per ricondurre le magnitudini strumentali al sistema fotometrico standard con la fotometria AllSky.

## Coefficienti di estinzione.

L'estinzione atmosferica  $X$  varia con l'altezza zenitale. Vale  $X=1.0$  allo zenit ( $90^\circ$ ),  $X=2.0$  a  $30^\circ$  sopra l'orizzonte e  $X=1.4$  a  $45^\circ$  di altezza.



$$m = m_0 + k_v \cdot X$$

$m$  = magnitudine strumentale

$m_0$  = magnitudine strumentale (extra atmosferica)

$k_v$  = coefficiente di estinzione filtro V  
(0.1 - 0.3 mag/massa d'aria).

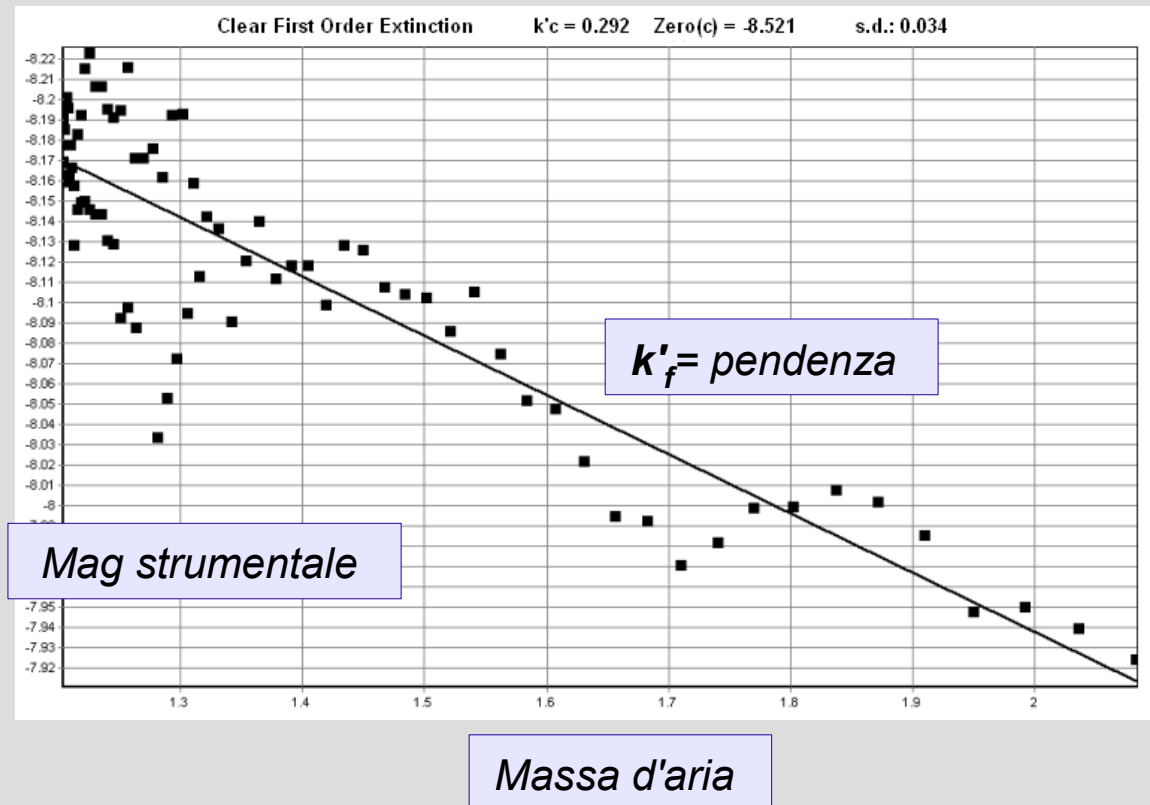
# Fotometria AllSky

## (estinzione atmosferica - come)

### Metodo della stella di confronto

Il coefficiente di estinzione, per un determinato filtro ( $k'_f$ ), si ottengono mettendo in relazione la variazione di **magnitudine strumentale** della stella di **confronto** con la variazione di **massa d'aria**.

Il coefficiente viene determinato dalla **pendenza** della retta di regressione. Questo metodo richiede comunque che le condizioni atmosferiche **non** varino significativamente nel corso dell'intera notte.





# Fotometria AllSky (estinzione atmosferica - come)

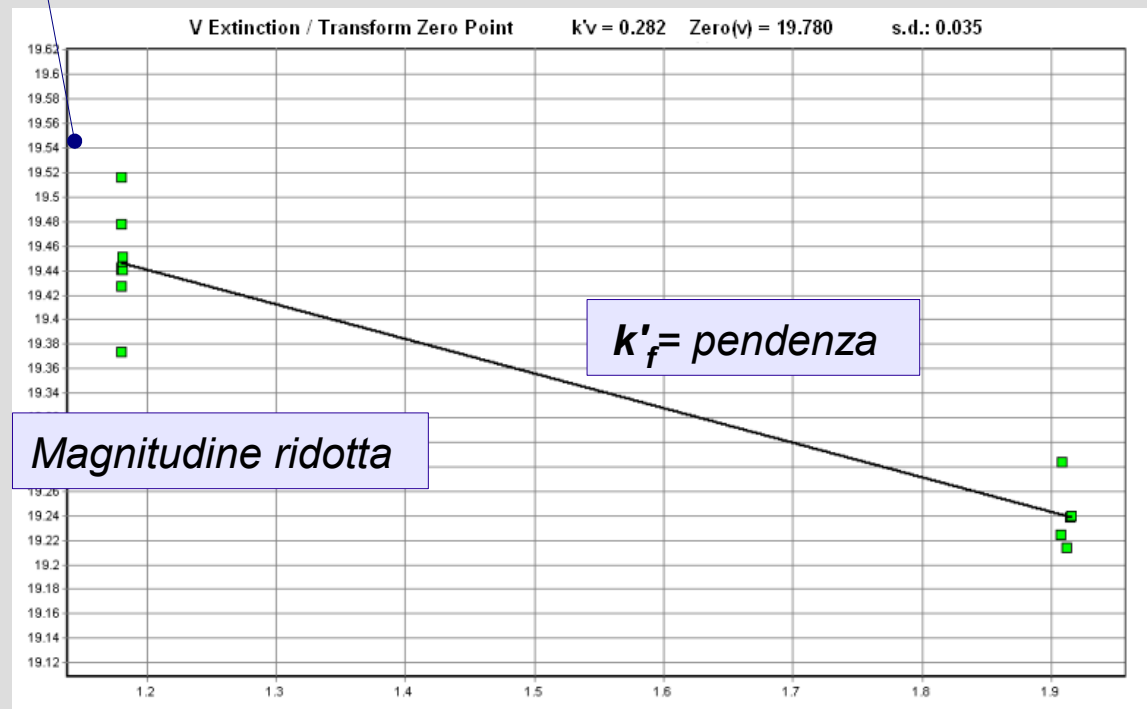
## Metodo (modificato) di Hardie

Questo è un metodo più veloce rispetto al precedente e richiede solo l'osservazione, temporalmente ravvicinata, di due campi standard (**Landolt**), distanti tra di loro circa una massa d'aria.

Ripetendo il metodo nel corso della notte sarà possibile verificare la stabilità atmosferica ed ottenere (attraverso la media) dei valori più precisi dei coefficienti di estinzione. Il coefficiente viene determinato dalla **pendenza** della retta di regressione.

$$M_r = M - \langle m \rangle - T_f \cdot CI$$

Si misura la variazione di magnitudine strumentale di due campi standard (molto alto e molto basso).



Massa d'aria

# Fotometria AllSky (Trasformazioni)

## **Trasformazioni**

La risposta spettrale della nostra strumentazione **difficilmente coinciderà** con lo **standard fotometrico BVRI**. Si rende pertanto necessario **calibrare** il nostro sistema rispetto a quello standard, attraverso l'uso di appositi **coefficienti di trasformazione** che andranno calcolati periodicamente (almeno una volta l'anno).

Per calcolare i **coefficienti di trasformazione** sarà necessario riprendere con i filtri normalmente utilizzati per le osservazioni (anche senza filtro), 3-5 frame di un campo standard di Landolt. In subordine va bene anche il famoso ammasso M67, usato spesso per questo scopo.

Riprendere il campo standard intorno alla sua culminazione in meridiano. Per il calcolo dei coefficienti di trasformazione è **ininfluente** l'uso dei coefficienti di estinzione.

# Fotometria AllSky

## (Trasformazioni – un esempio)

### Trasformazioni un esempio ottenuto sul campo di M67

$$\begin{aligned}
 B &= b + 0.411(V-R) + 19.046 && (s.d. 0.022) \\
 V &= v - 0.159(V-R) + 19.562 && (s.d. 0.013) \\
 R &= r - 0.111(V-R) + 19.746 && (s.d. 0.014) \\
 V &= c + 0.566(V-R) + 21.138 && (s.d. 0.013) \\
 (V-R)_{std} &= 0.952(v-r)_{instr} - 0.174 && (s.d. 0.010)
 \end{aligned}$$

*B, V, R sono magnitudini standard, mentre b, v, r, c sono magnitudini strumentali.*

$$(F - f) = T_f(CI) + Z_f$$

*Trasformazione per filtro*

$$(CI)_{std} = T_{ci} \cdot (ci)_{instr} - Z_{ci}$$

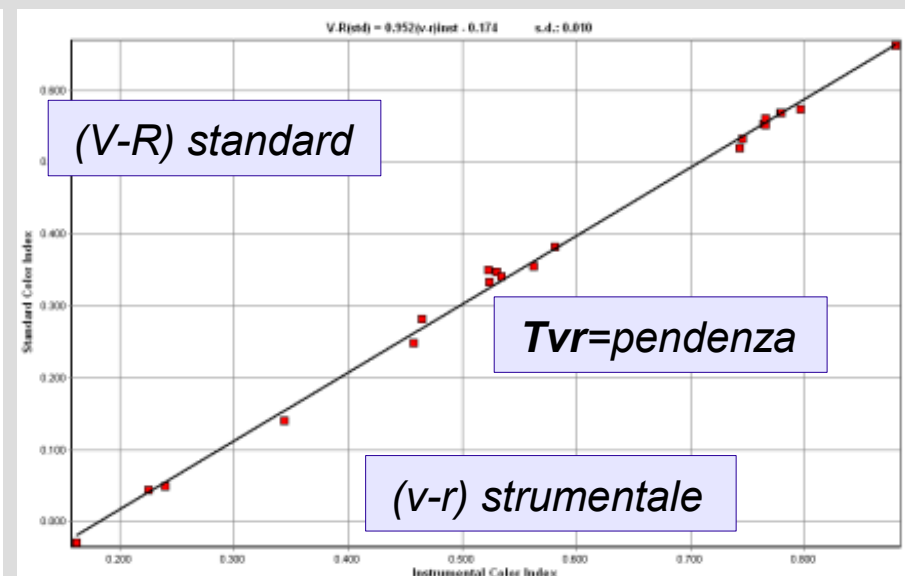
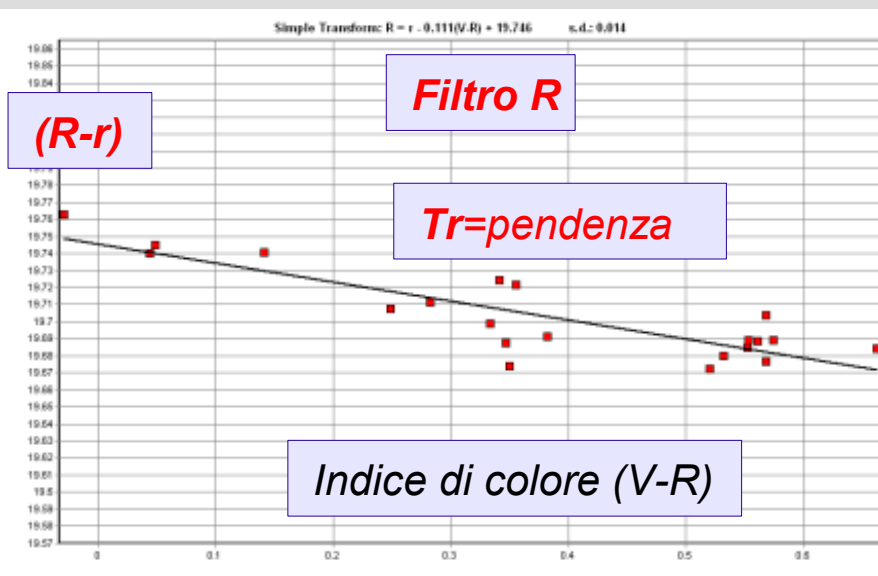
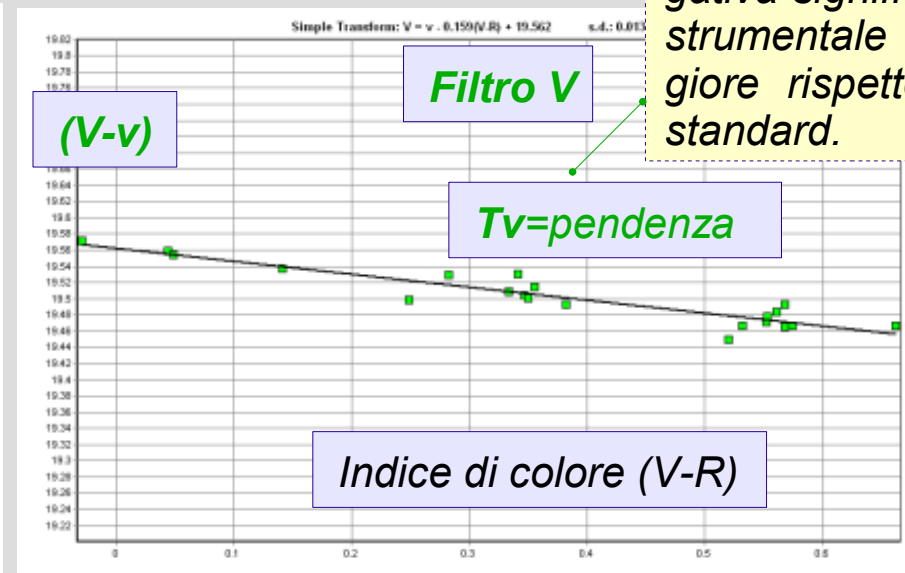
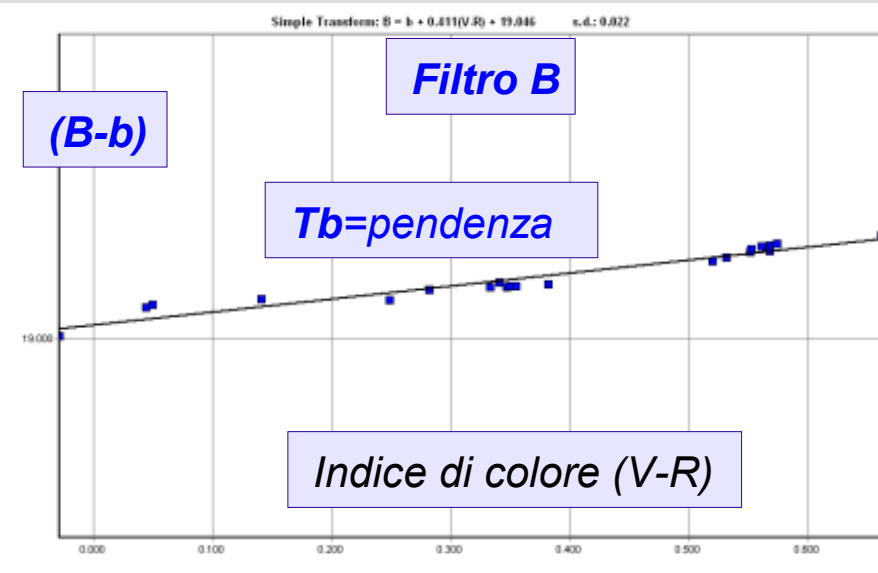
*Trasformazione per indice di colore*

Nel caso di una perfetta corrispondenza del proprio sistema a quello standard, il coefficiente **T<sub>f</sub>** dovrebbe valere **0** ed il coefficiente **T<sub>ci</sub>** dovrebbe coincidere con **1**. La prima relazione permette di trasformare le magnitudini strumentali **f** in magnitudini standard **F**, mentre la seconda permette di trasformare gli indici di colore strumentali **ci** in indici di colore standard **CI**. I coefficienti **Z<sub>f</sub>** e **Z<sub>ci</sub>** rappresentano i punti di zero (**zero point**) e vanno determinati per ogni sessione AllSky.

# Fotometria AllSky

## (Trasformazioni – qualche esempio)

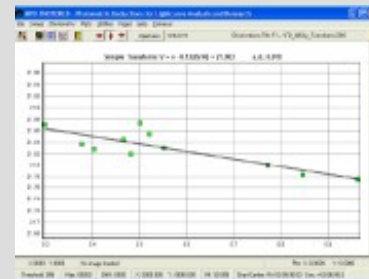
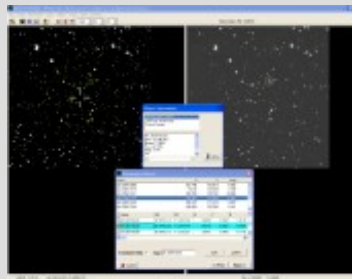
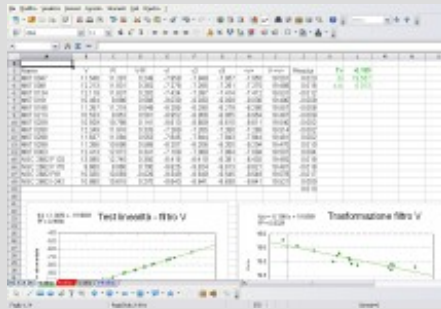
Una pendenza negativa significa un  $v$  strumentale maggiore rispetto al  $V$  standard.



# Trasformazioni

## Qualche esempio pratico

Adesso vedremo due esempi concreti di calcolo dei coefficienti di trasformazione. Il primo basato sul foglio di calcolo 'Xfrm.xls' (\*) ed il secondo attraverso l'uso di MPO Canopus.



(\*) nel foglio di calcolo sono utilizzati gli esempi riportati nel libro 'Lightcurve Photometry and Analysis', Warner (2006).

# Fotometria Differenziale (quale approccio)

*Esistono almeno tre approcci alla fotometria differenziale (vedi Arne Henden su CCD-astrometry-photometry on Nov 6, 2003).*

## **1. Fotometria differenziale strumentale pura**

*Si determinano le differenze di magnitudine strumentale tra la variabile ed una o più stelle di confronto presenti nello stesso campo inquadrato.*

*Pro: altissima precisione, specialmente se si usano più stelle di confronto.*

*Contro: nessuna confrontabilità con il sistema standard*

## **2. Fotometria differenziale standardizzata**

*Come per il caso 1, ma conoscendo la magnitudine della stella di confronto.*

*[ $V_{std} = (V_{inst} - C_{inst}) + C_{std}$ ]*

*Pro: abbastanza vicino al sistema standard, specialmente se si usano filtri fotometrici.*

*Contro: occorre conoscere la magnitudine delle stelle di confronto.*

## **3. Fotometria differenziale standardizzata + trasformazioni**

*Come il caso 2, ma in più applicando i coefficienti di trasformazione per tenere conto delle differenze di colore delle stelle di confronto.*

*Pro: si ottengono magnitudini nel sistema standard.*

*Contro: occorre conoscere la magnitudine ed il colore delle stelle di confronto, oltre a determinare i coefficienti di trasformazione del proprio setup.*

# Fotometria Differenziale (quale approccio)

Quindi il miglior metodo per calibrare le nostre misure al sistema standard è rappresentato dal terzo punto (*fotometria differenziale standardizzata + trasf*).

Il cui prerequisito è rappresentato da:

- Occorrono stelle di confronto di *magnitudine ed indice di colore noto*. Quanto più accurati saranno questi valori, tanto più accurata sarà la nostra fotometria standard.
- Occorre determinare, almeno una volta l'anno, i *coefficienti di trasformazione del proprio setup strumentale (telescopio + CCD + filtri)*.

*Per le variabili incluse nei programmi AAVSO vengono sempre elencate le stelle di confronto, con magnitudini ben calibrate e con indice di colore noto. Rappresentano quindi un ottimo sistema per ridurre le proprie misure fotometriche al sistema standard (Henden field photometry)*

*Ma se la nostra variabile non è inclusa nel programma AAVSO e non ci sono stelle di confronto ben calibrate fotometricamente nelle vicinanze ... **cosa facciamo ???***



# Fotometria Differenziale

## (cataloghi fotometrici)

*Per rispondere alla domanda precedente, abbiamo due possibili approcci:*

- **Fotometria AllSky**: determiniamo con il metodo **AllSky** i dati fotometrici delle stelle di confronto presenti nel campo della variabile in studio. Questo approccio è quello seguito dall'AAVSO quando inserisce una nuova variabile nel suo programma osservativo.
- **Uso di Cataloghi Fotometrici**: questo secondo approccio è meno oneroso rispetto al primo, ma comunque ci permette di calibrare i nostri dati al sistema standard, con un' opportuna scelta delle stelle di confronto.

*Un' ottima fonte di dati fotometrici è rappresentata dal catalogo **Carlsberg Meridian Catalog 14 (CMC14)**. Copre tutto il cielo da -30 a +50 gradi di declinazione con quasi 96 milioni di stelle. L'accuratezza fotometrica è di 0.03 mag per stelle più luminose della 13a magnitudine. Questo rappresenta un valore difficilmente superabile con la fotometria AllSky condotta da cieli cittadini e con condizioni atmosferiche non certo perfette.*

*In alternativa al CMC14, specialmente per le zone non coperte da quest'ultimo, è possibile avvalersi del catalogo astrometrico **UCAC3** che permette di raggiungere un' accuratezza fotometrica migliore del decimo di magnitudine.* 16



# Fotometria Differenziale

(calibrazione con CMC14 ed il metodo di Miles & Dymock)

*Per la calibrazione fotometrica al sistema standard è possibile utilizzare il metodo descritto da Richard **Miles** and Roger **Dymock** (2009) ed il catalogo **CMC14** (Carlsberg Meridian Catalogue).*

*E' necessario selezionare accuratamente le **stelle di confronto** con un **indice di colore simile** a quello medio del nostro oggetto in studio.*

*I valori **V** ed **R** delle stelle di confronto sono stati ricavati con le seguenti trasformazioni lineari degli indici di colore **J-K** (2MASS) ed **r'** (CMC14), con un errore stimato di **0.02/0.04 mag** per **R** e **V** (rispetto alle stelle di calibrazione di Landolt).*

$$R = r' - 0.22$$

$$V = 0.6278 \cdot (J - K) + 0.9947 \cdot r'$$

# Fotometria Differenziale

(calibrazione con UCAC3 ed il metodo di Hristo Pavlov)

*In alternativa al metodo precedente è possibile avvalersi del catalogo astrometrico UCAC3 e del metodo descritto da [Hristo Pavlov](#) (2009).*

*I valori **V** delle stelle di confronto possono essere ricavati dalle seguenti trasformazioni lineari degli indici di colore J-K (2MASS) ed fMag / aMag (UCAC3), con un' accuratezza stimata di **0.08 mag**.*

$$V = 0.531 \cdot (J - K) + 0.9060 \cdot fMag + 0.95$$

*oppure ...*

$$V = 0.529 \cdot (J - K) + 0.9166 \cdot aMag + 0.83$$

# Fotometria Differenziale

## (dati CMC14 da Vizier)

I dati fotometrici del catalogo CMC14 per le potenziali stelle di confronto potranno essere ottenute tramite il servizio Vizier (<http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>).

VizieR Service

Search by Position across 9223 tables

Target Name (resolved by [Simbad](#)) or Position:  Target dimension:

Find catalogs among 8904 available

Carlberg Meridian Catalog 14 (CMC14) (CDS)

The full CMC-14 catalog (around 95.85million source in the region -30 to +50, -0.5858475 rows)

Cell	r	RAJ2000	DEJ2000	CMC14	f	RAJ2000	DEJ2000	r <sub>mag</sub>	N <sub>r</sub>	J <sub>mag</sub>	H <sub>mag</sub>	K <sub>mag</sub>
deg	deg	deg	deg	deg	deg	deg	deg	mag		mag	mag	mag
0	0.0687	07 30 00.314	+30 01 50.42	073000.3+300150	112	501309	+30.030672	16.454	1	15.460	14.948	
0	0.9719	07 30 02.188	+30 02 41.92	073002.1+300241	112	509116	+30.044979	14.266	1	12.692	12.100	12.002
1	1.0775	07 30 03.571	+30 02 36.04	073003.5+300236	112	514881	+30.043344	14.956	1	13.887	13.575	13.502
1	1.2446	07 29 55.758	+30 01 00.58	072955.7+300100	112	482326	+30.016829	16.864	1	15.231	14.660	14.498
1	1.3555	07 30 05.236	+30 01 06.39	073005.2+300106	112	521817	+30.018442	15.702	1	14.514	14.058	14.002
1	1.4350	07 29 57.089	+30 03 08.36	072957.0+300308	112	487869	+30.052322	16.694	1	15.480	14.973	14.546
1	1.7055	07 29 53.457	+30 00 53.99	072953.4+300053	112	472736	+30.014997	16.662	1	14.288	13.597	13.387
1	1.7190	07 30 03.452	+30 00 18.11	073003.4+300018	112	514382	+30.005031	16.842	1	15.556	15.196	
1	1.9176	07 29 55.563	+30 00 11.41	072955.5+300011	112	481514	+30.003170	16.469	1	15.279	14.886	
1	1.9237	07 29 57.772	+30 03 42.74	072957.7+300342	112	490718	+30.061872	15.352	2	14.288	13.990	14.025
1	2.2006	07 30 05.215	+30 03 44.36	073005.2+300344	112	521728	+30.062321	13.915	2	12.795	12.484	12.424
1	2.4111	07 30 05.680	+30 03 55.45	073005.6+300355	112	523666	+30.065404	16.437	2	14.802	14.191	14.084
1	2.4389	07 29 59.326	+29 59 24.93	072959.3+295924	112	497193	+29.990257	15.143	1	14.349	14.094	13.991
1	2.4716	07 30 11.055	+30 01 13.88	073011.0+300113	112	546063	+30.020521	15.601	1	14.563	14.200	14.152
1	2.6102	07 30 06.968	+30 03 58.83	073006.9+300358	112	529035	+30.066343	17.592	1	16.088		
1	2.6746	07 30 00.663	+29 59 10.76	073000.6+295910	112	502761	+29.986321	12.144	1	11.139	10.866	10.786
1	2.8251	07 29 47.051	+30 02 12.34	072947.0+300212	112	446046	+30.036762	16.484	1	15.440	14.998	
1	2.8263	07 30 07.992	+29 59 36.91	073007.9+295936	112	533300	+29.993585	15.757	1	14.503	13.918	13.823
1	2.8321	07 30 07.349	+29 59 30.42	073007.3+295930	112	530621	+29.991783	16.618	1	14.914	14.299	14.098
2	2.9310	07 29 56.435	+30 04 40.66	072956.4+300440	112	485145	+30.077961	17.098	1			
2	3.1033	07 29 49.144	+29 59 49.40	072949.1+295949	112	454767	+29.997055	17.456	1	15.805		
2	3.1632	07 30 13.398	+30 00 35.22	073013.3+300035	112	555824	+30.009783	16.288	1	14.900	14.528	14.354
2	3.1658	07 30 08.137	+29 59 13.17	073008.1+295913	112	533903	+29.986991	16.077	1	15.066	14.635	14.456
2	3.2142	07 30 08.965	+30 04 24.77	073008.9+300424	112	537354	+30.073546	16.839	1	14.756	14.158	14.024
2	3.3062	07 29 58.689	+29 58 33.36	072958.6+295833	112	494538	+29.975933	15.151	1	14.430	13.912	13.914

r', J, K

Coordinate

Raggio

CMC14

NT >= 2

# Fotometria Differenziale (al lavoro)

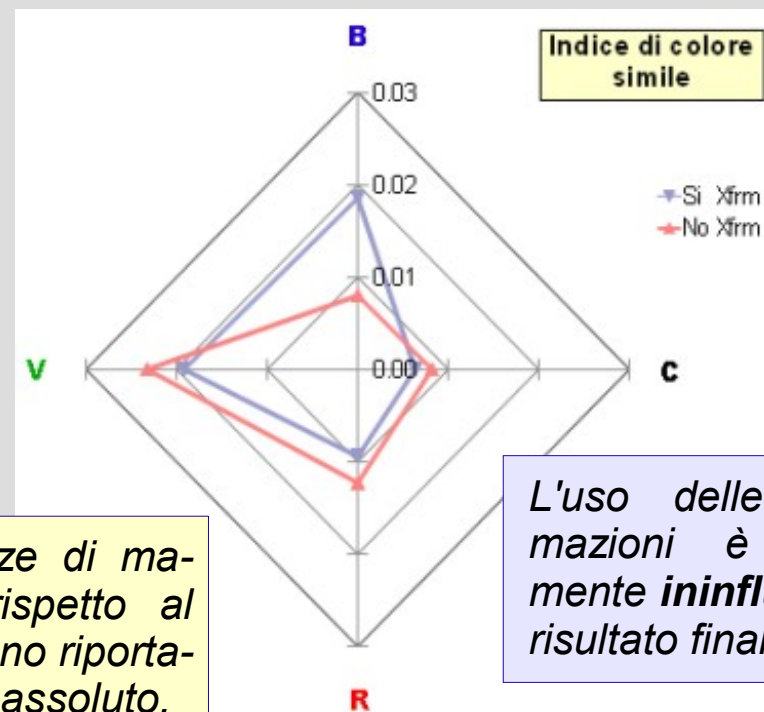
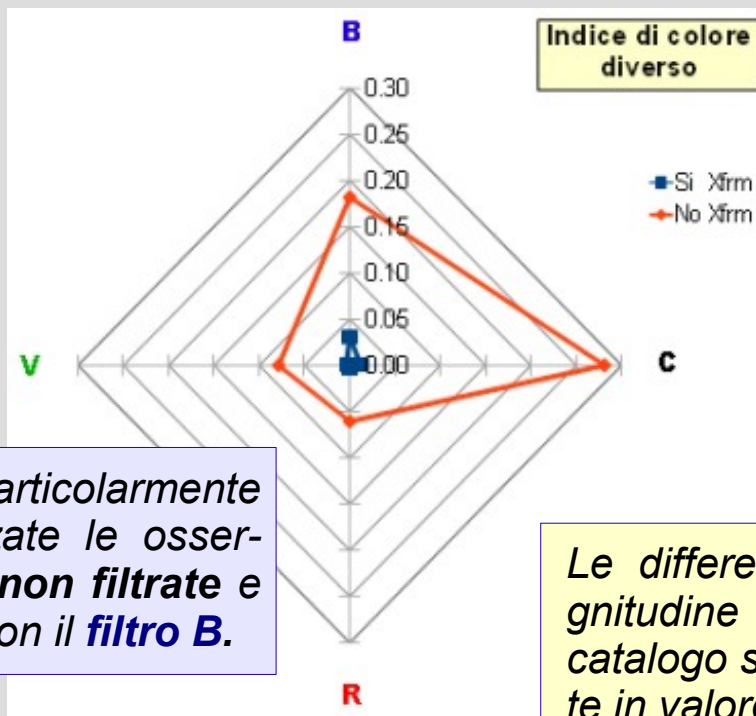
Anche l'approccio **2)** (*fotometria differenziale standardizzata*) può portare in modo **più semplice** a dei buoni risultati, ma è comunque **fondamentale** utilizzare delle stelle di confronto di colore **molto simile** a quello della variabile in esame a causa dei seguenti due fattori:

- *La non perfetta rispondenza al sistema standard del proprio setup.*
- *L'influenza differenziale del colore al variare della massa d'aria, in effetti l'atmosfera assorbe di più il colore blu rispetto al rosso.*

# Fotometria Differenziale

(influenza indice di colore e trasformazioni)

Adesso vedremo con un piccolo esperimento quale sarà l'influenza della scelta dell'indice di colore delle stelle di confronto e l'uso dei coefficienti di trasformazione. Si è scelto l'ammasso M67, selezionando alcune stelle di confronto con indice di colore (V-R) **abbastanza diverso** ( $\sim 0.5$ ) o **molto simile** ( $< 0.1$ ) rispetto alla stella scelta come target ed applicando l'approccio 2) e 3) alla fotometria differenziale.



Sono particolarmente penalizzate le osservazioni **non filtrate** e quelle con il **filtro B**.

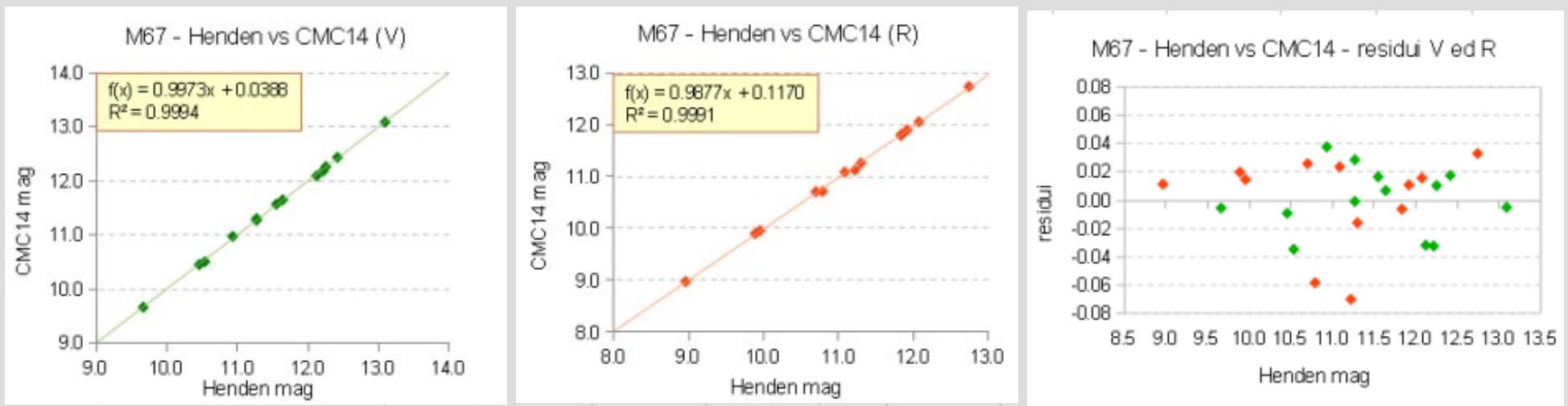
Le differenze di magnitudine rispetto al catalogo sono riportate in valore assoluto.

L'uso delle trasformazioni è praticamente **ininfluente** sul risultato finale.

# Fotometria Differenziale

(esperimento M67 - verifica Henden vs CMC14)

Per l'ammasso M67 sono state messe a confronto le magnitudini del catalogo **CMC14** rispetto a quelle di **Henden**.



Notare l'**ottimo allineamento** delle magnitudini del catalogo **CMC14** rispetto ai valori di **Henden**. La deviazione standard dei residui è di **0.023** per il **filtro V** e di **0.032** per il **filtro R**.

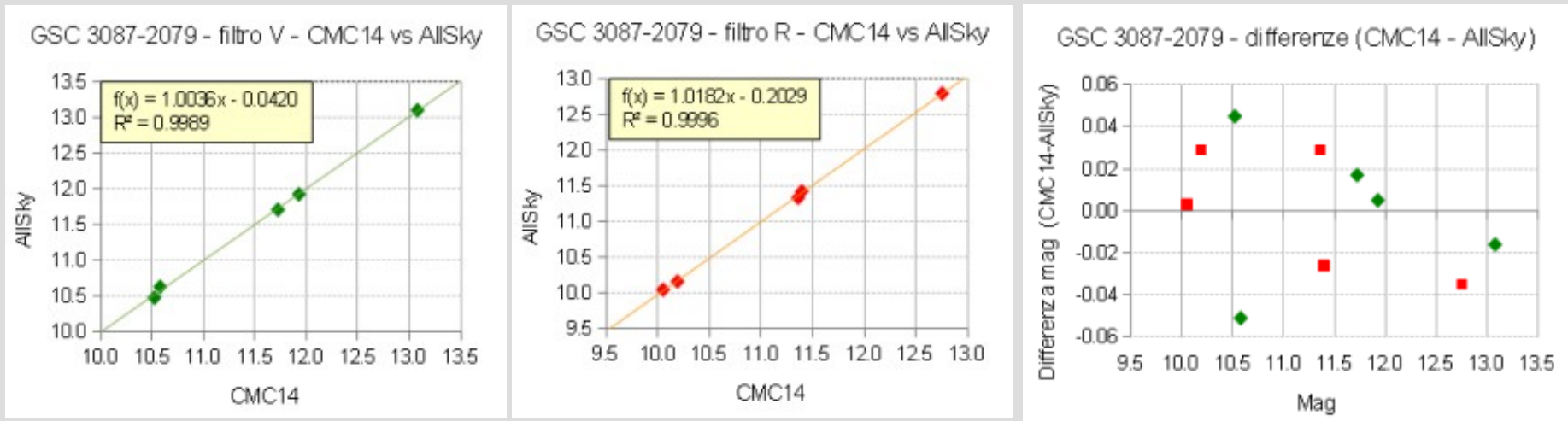
Questa piccola verifica ci mostra ancora una volta l'accuratezza dei dati fotometrici del catalogo CMC14.



# Fotometria Differenziale vs AllSky

(esperimento sul campo della GSC 3087-2079)

Ancora un esperimento, questa volta mettendo a confronto le magnitudini ottenute con la fotometria **AllSky** rispetto a quelle ottenute dal catalogo **CMC14** su cinque stelle di confronto presenti nel campo della variabile GSC 3087-2079.



La deviazione standard delle differenze di magnitudine tra il catalogo CMC14 e la fotometria **AllSky** è stata di **0.036** per il **filtro V** e **0.030** per il **filtro R**. Questa è un'ulteriore conferma dell'efficacia fotometrica del catalogo CMC14 ai fini della calibrazione al sistema standard.

# Fotometria Differenziale

## (uso dei coefficienti di trasformazione)

Nelle sezioni precedenti abbiamo visto l'utilità del **catalogo CMC14** e l'opportunità di usare i **coefficienti di trasformazione**. Vedremo tra breve un esempio, ma prima è importante porre la nostra attenzione sulla relazione che useremo nel foglio di calcolo.

$$M_t = (m_t - m_c) + [T_f \cdot (CI_t - CI_c)] + M_c$$

Warner, B.D. (2006)

Dove:

$m_t$  e  $m_c$ : magnitudine strumentale stella target e confronto

$T_f$ : trasformazione per un determinato filtro (es:  $T_v$ )

$M_t$ : Magnitudine standard target (es:  $V_t$ )

$M_c$ : Magnitudine standard stella di confronto (es:  $V_c$ )

$CI_t$  e  $CI_c$ : Incice di colore stella target e confronto (es:  $V - R$ )

Quando la **differenza di colore** tra target e stella di confronto è **minima**, anche il fattore racchiuso tra parentesi quadre **diventa minimo**, come abbiamo avuto modo di verificare anche nella pratica.

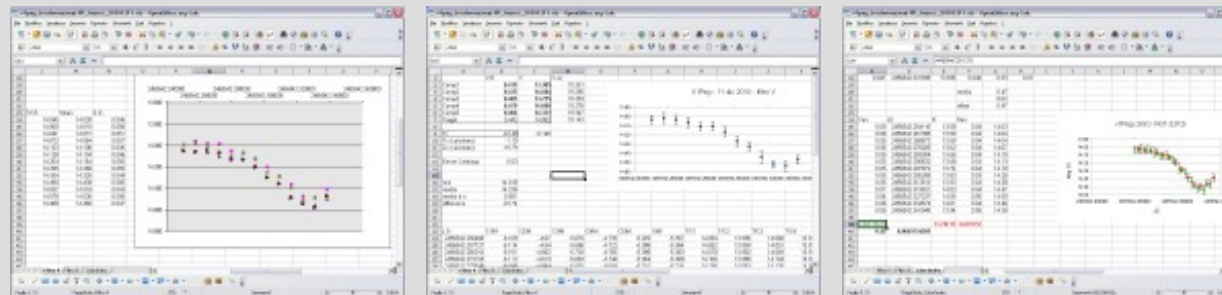
Analoghe relazioni valgono per gli altri filtri **B**, **V**, **I**, **C** con i corrispondenti coefficienti di trasformazione  $T_b$ ,  $T_v$ ,  $T_i$ ,  $T_c$ .



# Calibrazione al sistema Standard

## Un esempio pratico

*Esempio pratico di uso di un foglio excel ([photored.xls](#))(\*). per la calibrazione al sistema standard dei dati di una curva di luce, usando le stelle di confronto del catalogo CMC14 ed i coefficienti di trasformazione.*



(\*) nel foglio di calcolo sono utilizzati gli esempi riportati nel libro '[Lightcurve Photometry and Analysis](#)', Warner (2006).

# Qualche riferimento utile

- Arne Henden su CCD-astrometry-photometry on Nov 6, 2003  
(<http://www.tass-survey.org/richmond/answers/photometry.html>)
- MPO Canopus  
(<http://www.minorplanetobserver.com/MPOSoftware/MPOCanopus.htm>)
- Dymock R., Miles R., 2009, A method for determining the V magnitude of asteroids from CCD images, (JBAA, 119,3),  
(<http://articles.adsabs.harvard.edu/full/2009JBAA..119..149D>).
- Warner, B.D. (2006), *A Practical Guide to Lightcurve Photometry and Analysis*. Springer, New York, NY.
- Buchheim, R. K. (2007). *The Sky is Your Laboratory – Advanced Astronomy Projects for Amateurs*.
- Budding E., Demircan O. (2007), *Introduction to Astronomical Photometry*
- Henden field photometry (<ftp://ftp.aavso.org/public/calib/>)

# Domande

