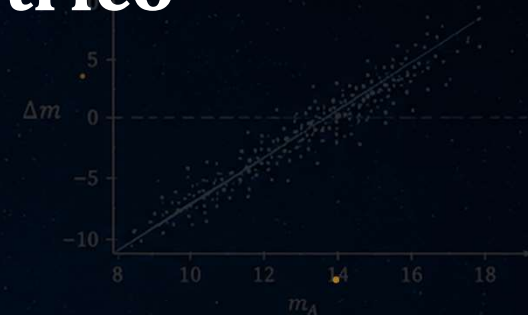


Formule di trasformazione empiriche dal sistema APASS DR9 al sistema fotometrico Johnson-Kron-Cousins **B V Rc Ic**

Come tradurre le magnitudini APASS nel sistema che usiamo da sempre



```
# conversion relation
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit
def model(mA, a0, a1, a2):
    return a0 + a1*mA + a2*(mA-mA)**2
popt, pcov = curve_fit(model, mA, mB, sigma=err)
res = mB - model(mA, *popt)
```

mA	mB	Δm	err
10.01	10.35	0.34	0.014
11.32	11.66	0.34	0.013
12.65	12.99	0.34	0.015
13.98	14.32	0.34	0.016
...	...	...	...

Nico Montigiani – Massimiliano Mannucci

Associazione Astrofili Fiorentini – Osservatorio Astronomico Margherita Hack (MPC A57)



JAAVSO Volume 54, 2026

34° Convegno Nazionale GAD (2026)

Perché serve una trasformazione fotometrica

- Negli ultimi anni, grazie ai CCD/CMOS, gli astronomi e gli astrofili stanno effettuando misure fotometriche di oggetti sempre più deboli.
- Si rende quindi necessario avere a disposizione stelle riferimento in range di magnitudini dove ancora sono poche le stelle standard con magnitudini precise.
- APASS DR9 copre quasi tutto il cielo, ma fornisce le magnitudini nel sistema **Sloan g, r, i** — mentre la maggior parte di chi osserva variabili, asteroidi o comete usa da sempre il sistema **Johnson–Kron–Cousins: B, V, Rc, Ic**.



- Serve quindi una “traduzione” affidabile tra i due sistemi, da applicare alle stelle di confronto scelte per un’immagine CCD.
- Le trasformazioni già esistenti in letteratura (Lupton 2005, Jordi 2006) funzionano, ma non benissimo.
- Ci siamo quindi chiesti: **“Oggi, con molti più dati e l’ausilio della IA, possiamo migliorare quelle formule?”**. Questo lavoro prova a rispondere.



62M

Stelle APASS DR9,
copertura oltre il 99% del cielo

APASS DR9

g, r, i (Sloan)

Le nostre formule

(“Montigiani 2026”, JAAVSO 54, 2026)

Johnson–Kron–Cousins

B, V, Rc, Ic

m_A	m_B	Δm	err
10.01	10.35	0.34	0.014
			0.013
			0.015
			0.016
...	...	...	...



Le formule già esistenti, e i loro limiti

Lupton (2005)

Formula lineare, usata negli algoritmi SDSS

~ 100 – 300

stelle di calibrazione

L'errore che commette cambia in modo evidente a seconda del colore della stella: funziona meno bene con le stelle molto blu o molto rosse.

Jordi et al. (2006)

Formule polinomiali da campi standard

~ 100 – 300

stelle di calibrazione

Stesso problema: l'errore dipende dal colore. In più, la sua formula per R_c nasconde un errore sistematico di 0,30 magnitudini — ne parliamo più avanti.

In questo Lavoro il campione di calibrazione è di ben **41.311** stelle, ossia da 100 a 400 volte più grande, e ha superato un test finale su 287 stelle mai usate prima.

m_A	m_B	Δm	err
			0.014
			0.013
			0.015
			0.016
...	...	...	...



Il campione di calibrazione: 41.311 stelle

41.311

stelle APASS DR9

$|b| > 15^\circ$

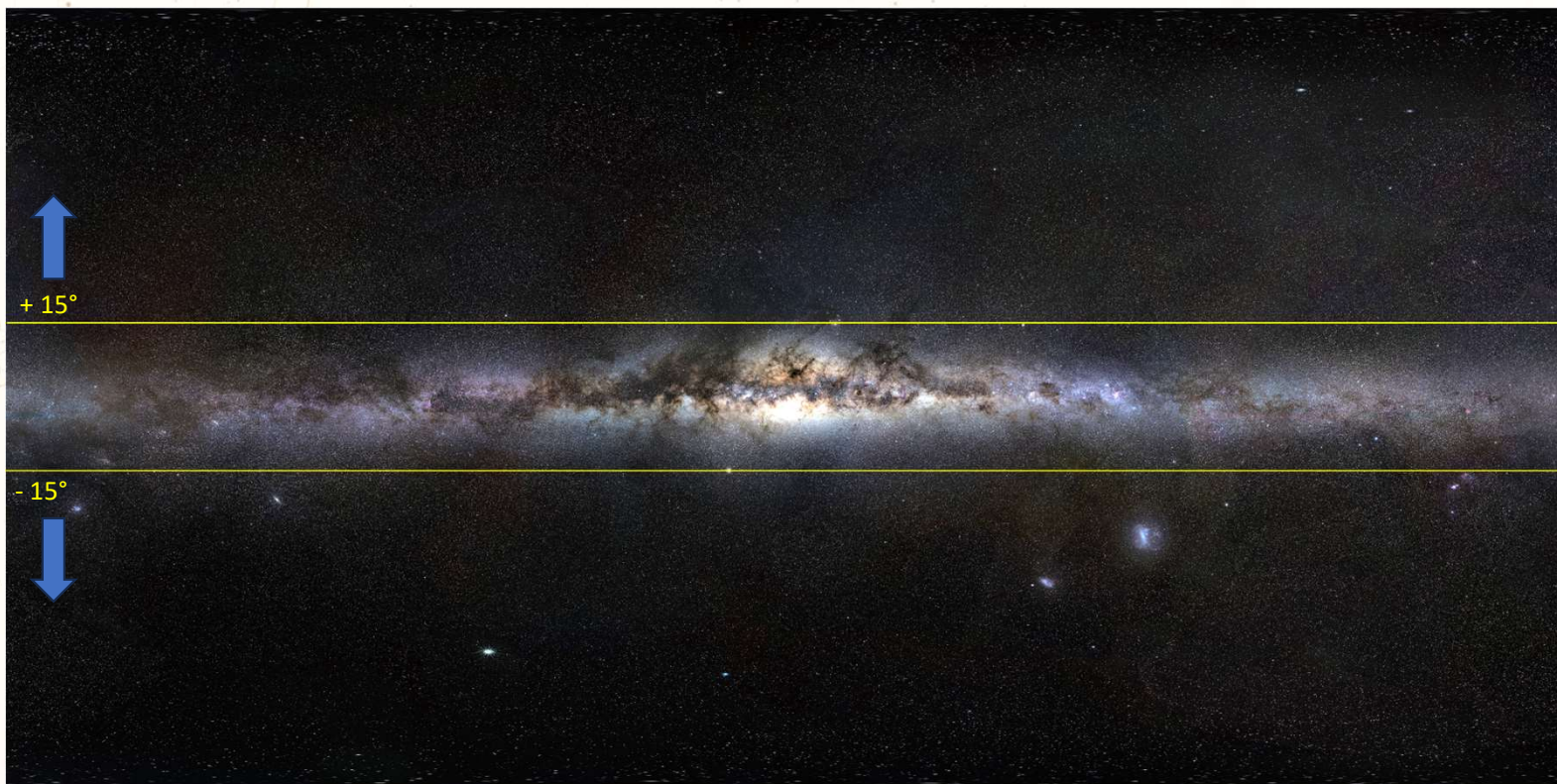
lontano dal piano
della Via Lattea

$\leq 0,08 \text{ mag}$

errore massimo
nel colore misurato

Pulizia automatica

le misure anomale
sono scartate



Intervallo di colore coperto: dal tipo OB (stelle molto blu e calde) al tipo K (stelle rosse e fredde)

OB/A

A/F

G (come il Sole)

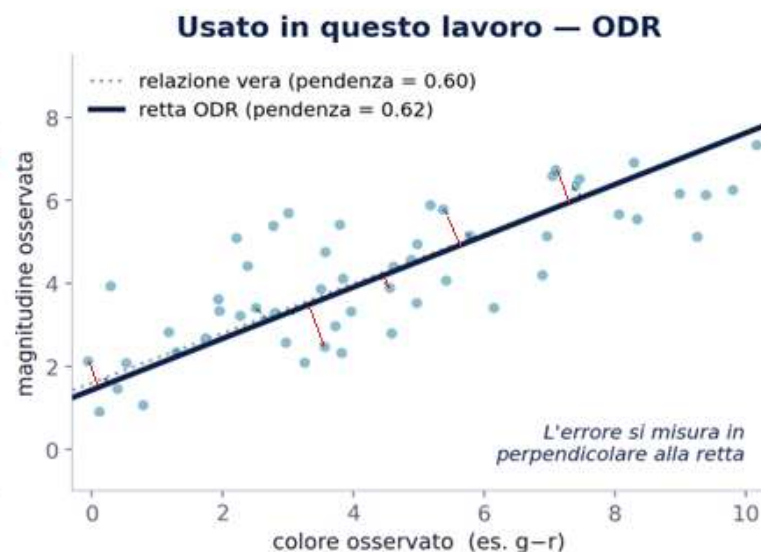
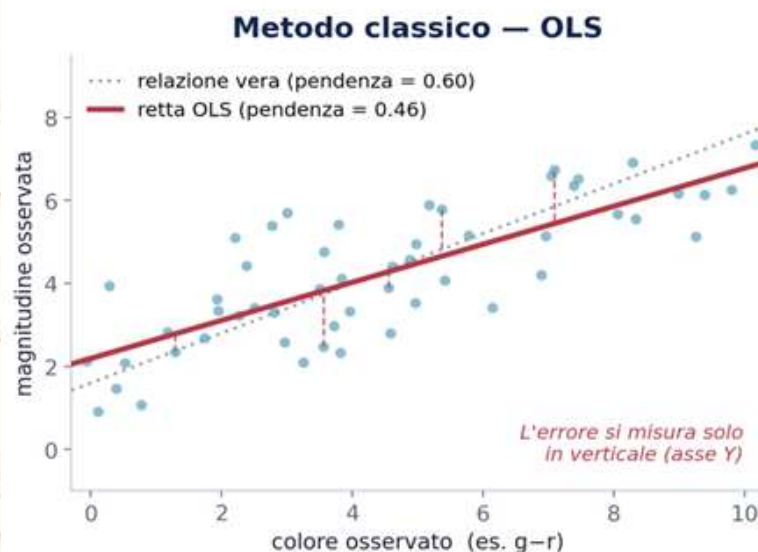
K

10.01	10.35	0.34	0.014
11.32	11.66	0.34	0.013
12.65	12.99	0.34	0.015
			0.016
			...

Due metodi di calcolo a confronto

Per tracciare la curva che meglio rappresenta i dati esistono due approcci. Il metodo classico si chiama **OLS** (Ordinary Least Squares, “minimi quadrati ordinari”). In questo lavoro si è usato invece un metodo chiamato **ODR** (Orthogonal Distance Regression, “regressione a distanza ortogonale”). Lo stesso identico campione di punti, con i due metodi, dà due rette leggermente diverse:

Esempio illustrativo con dati simulati: stesso campione di punti, due metodi diversi



OLS — considera perfetto il colore misurato: la pendenza risulta “diluata”, cioè sottostimata.

ODR — tiene conto dell’errore anche sul colore: la pendenza ritrovata è molto più vicina a quella vera.

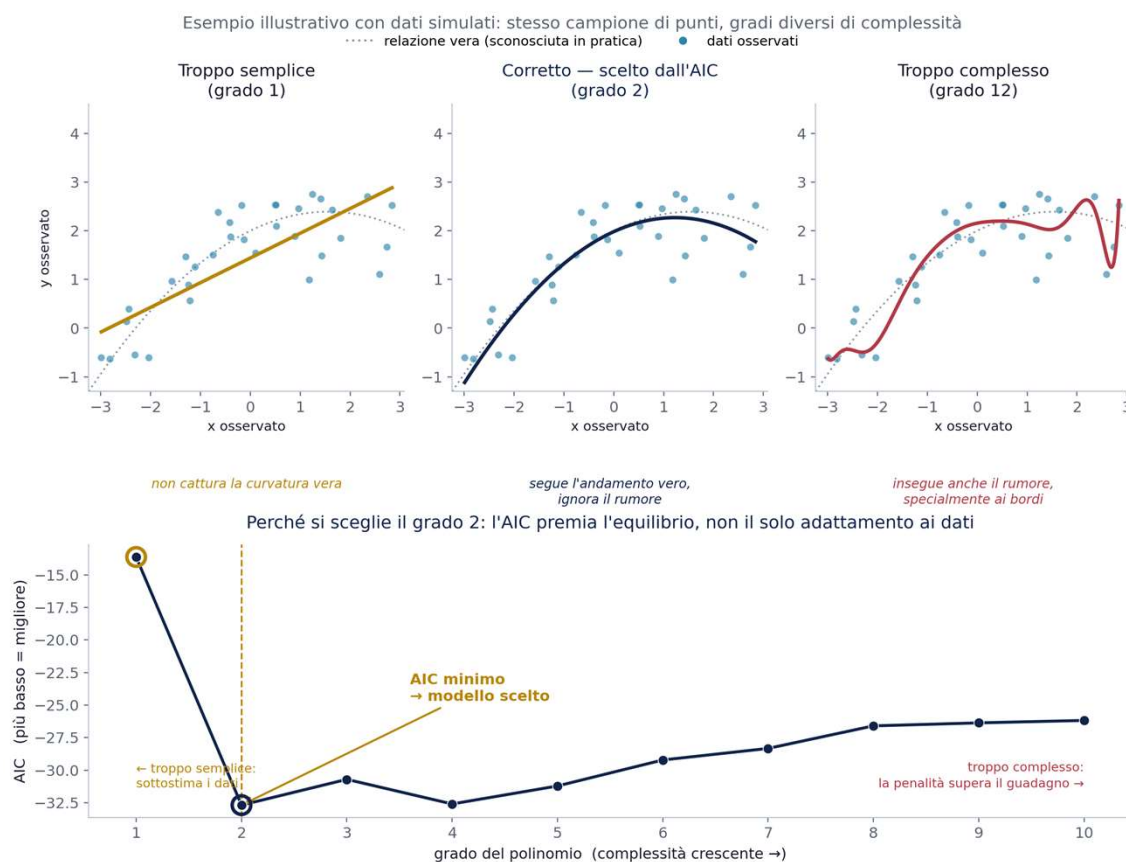
```
port curve_fit
a2):
a2*(mA-mA)**2
(model, mA, mB, sigma=err)
'popt)
```

mB	Δm	err
0.35	0.34	0.014
1.66	0.34	0.013
12.65	12.99	0.34
		0.015



Quanto deve essere “curva” la formula?

AIC = Akaike Information Criterion: È un criterio statistico automatico che, tra più versioni possibili di una formula (più semplici o più complicate), sceglie sempre quella più semplice che descrive comunque bene i dati. Un esempio illustrativo chiarisce l'idea:



Risultato pratico — per V, B e RC basta una parabola (grado 2); per IC ne serve una leggermente più elaborata, perché il suo comportamento è un po' diverso.

Il rischio del grado troppo alto — una curva troppo complessa insegue anche il rumore casuale e gli andamenti locali non reali: sembra perfetta sui dati di calcolo, ma peggiora su stelle nuove.

In pratica, cosa cambia per l'utilizzatore delle formule?

Nulla: questi criteri (ODR e AIC) sono serviti solo a calcolare le formule nel modo più corretto possibile. Per usarle bastano le formule pronte, che vediamo nella prossima slide.



Le quattro formule, pronte all'uso

Non serve capire i dettagli matematici: bastano le magnitudini g , r , i delle vostre stelle per ottenere direttamente V , B , R_c , I_c .

V

$$V_0 = g_0 - 0,01137 - 0,55868 \cdot (g-r)_0 + 0,00563 \cdot (g-r)_0^2$$

B

$$B_0 = g_0 + 0,16841 + 0,44387 \cdot (g-r)_0 + 0,02810 \cdot (g-r)_0^2$$

R_c

$$R_{c0} = r_0 - 0,1462 - 0,0763 \cdot (g-r)_0 - 0,0426 \cdot (g-r)_0^2$$

I_c

$$I_{c0} = i_0 - 0,3235 + 0,4591 \cdot (r-i)_0 - 0,2421 \cdot (r-i)_0^2 - 0,3115 \cdot (g-r)_0$$

$(g-r)$, $(r-i)$ = differenza di colore tra due bande. Valide per stelle con colore $-0,28 \leq (g-r) \leq +1,10$.

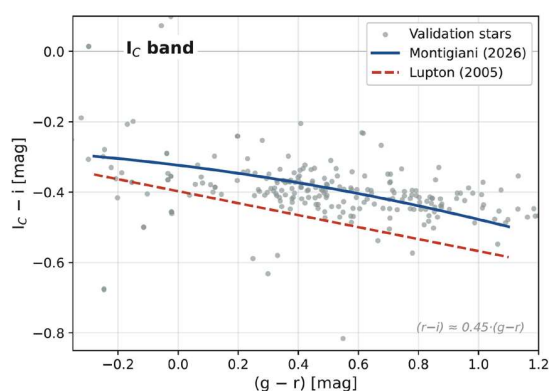
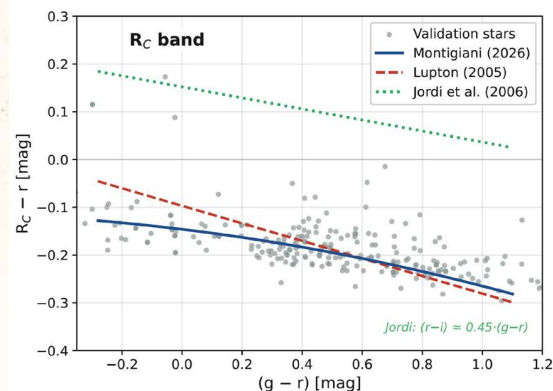
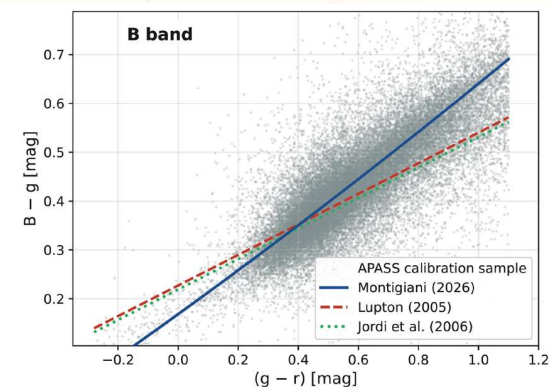
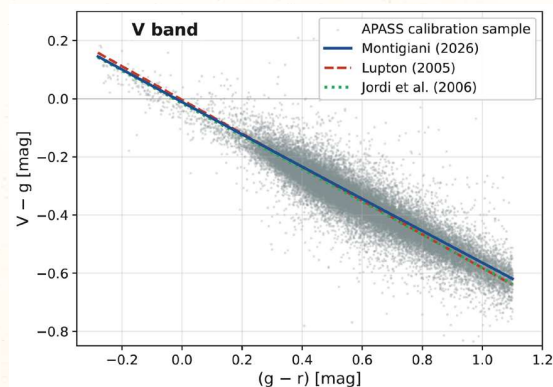
11.32	11.66	0.34	0.013
12.65	12.99	0.34	0.015
13.98	14.32	0.34	0.016
...	...	...	...

Come funzionano le formule trovate?

Ogni punto grigio è una vera stella del campione APASS.

Le linee mostrano come le diverse formule “traducono” il colore della stella ($g-r$) in una differenza di magnitudine.

La nostra formula (linea blu) segue meglio l'andamento reale dei dati, soprattutto per le stelle molto blu o molto rosse, dove le vecchie formule (rossa e verde) si allontanano di più.



IL PROBLEMA DELL'ARROSSAMENTO

Due versioni: con o senza correzione per la polvere

Lungo la linea di vista verso ogni stella c'è un po' di polvere interstellare, che la rende leggermente più rossa e debole: si chiama **arrossamento**, e si misura con un numero chiamato E(B-V).

Versione A — corregge prima l'effetto della polvere. È la più precisa, ma richiede di conoscere E(B-V) della stella.

$$V_0 = g_0 - 0,01137 - 0,55868 \cdot (g-r)_0 + 0,00563 \cdot (g-r)_0^2$$

$$B_0 = g_0 + 0,16841 + 0,44387 \cdot (g-r)_0 + 0,02810 \cdot (g-r)_0^2$$

$$R_{c0} = r_0 - 0,1462 - 0,0763 \cdot (g-r)_0 - 0,0426 \cdot (g-r)_0^2$$

$$I_{c0} = i_0 - 0,3235 + 0,4591 \cdot (r-i)_0 - 0,2421 \cdot (r-i)_0^2 - 0,3115 \cdot (g-r)_0$$

Versione B (uso pratico) — si applica direttamente alle magnitudini osservate, senza correggere nulla prima: è quella pensata per il lavoro quotidiano con le vostre immagini CCD.

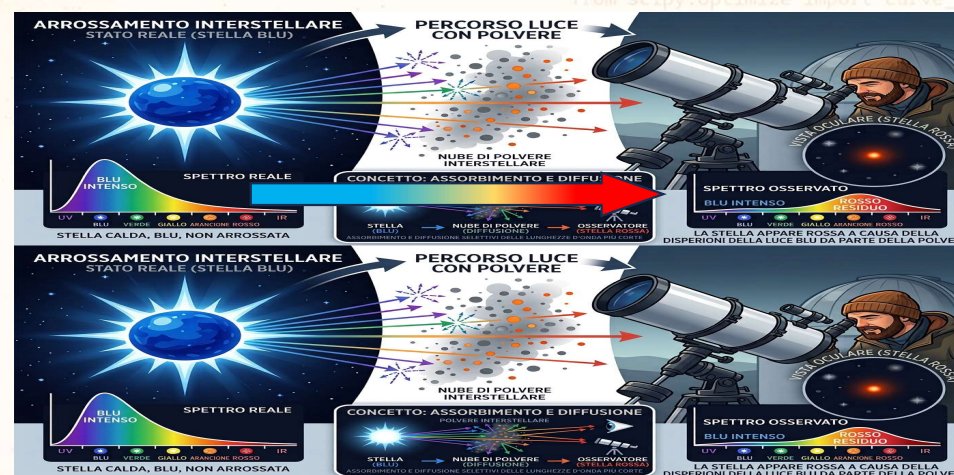
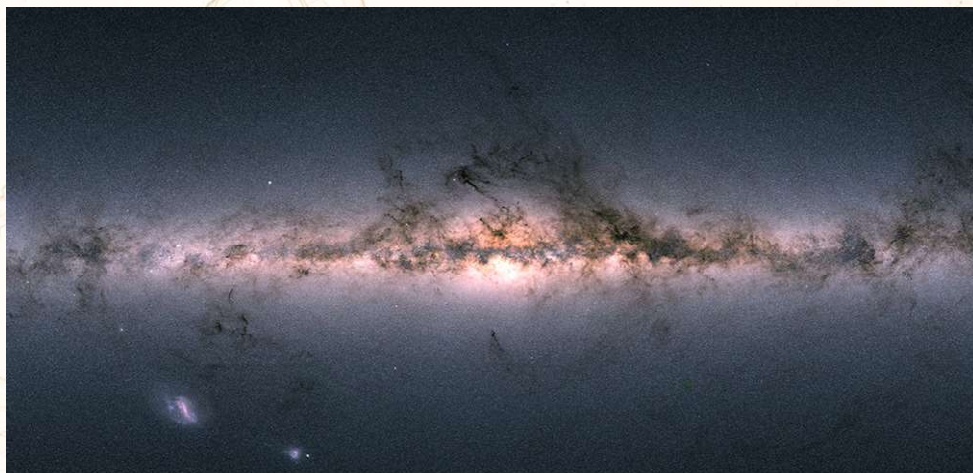
$$V = g - 0,01137 - 0,55868 \cdot (g-r) + 0,00563 \cdot (g-r)^2$$

$$B = g + 0,16841 + 0,44387 \cdot (g-r) + 0,02810 \cdot (g-r)^2$$

$$R_c = r - 0,1462 - 0,0763 \cdot (g-r) - 0,0426 \cdot (g-r)^2$$

$$I_c = i - 0,3235 + 0,4591 \cdot (r-i) - 0,2421 \cdot (r-i)^2 - 0,3115 \cdot (g-r)$$

Abbiamo verificato che **gli stessi coefficienti funzionano anche sulle magnitudini non corrette per l'arrossamento**: l'errore che si aggiunge è molto più piccolo dell'errore tipico delle formule, almeno per campi non troppo polverosi, diciamo fino a E(B-V) di 0,2. Oltre, conviene usare la versione A.





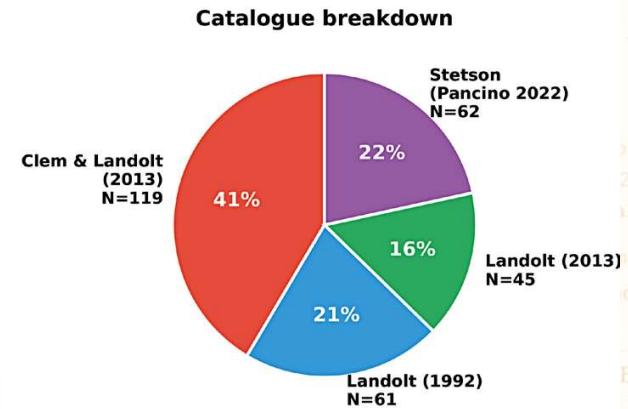
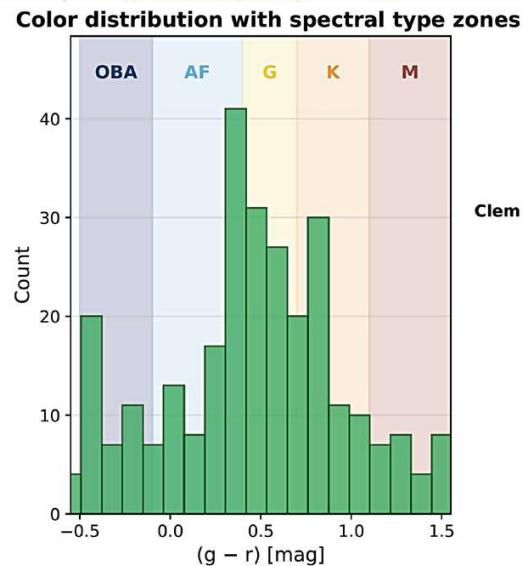
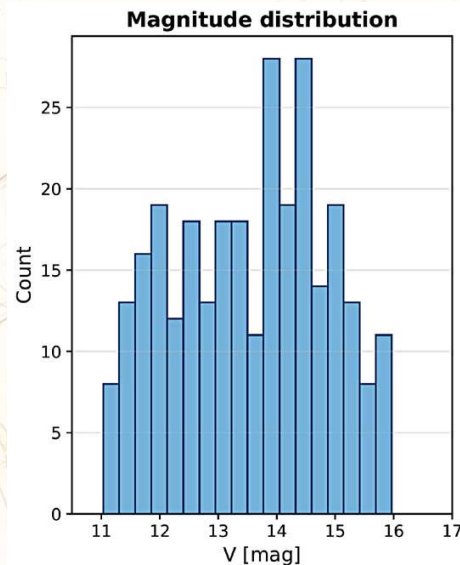
Il test finale: 287 stelle mai “usate” prima

Per essere sicuri che le formule funzionino bene anche su stelle diverse da quelle usate per calcolarle, sono state messe alla prova su altre 287 stelle, prese da 4 cataloghi indipendenti:

287 stelle di test

4 cataloghi diversi

0 usate nel calcolo delle formule



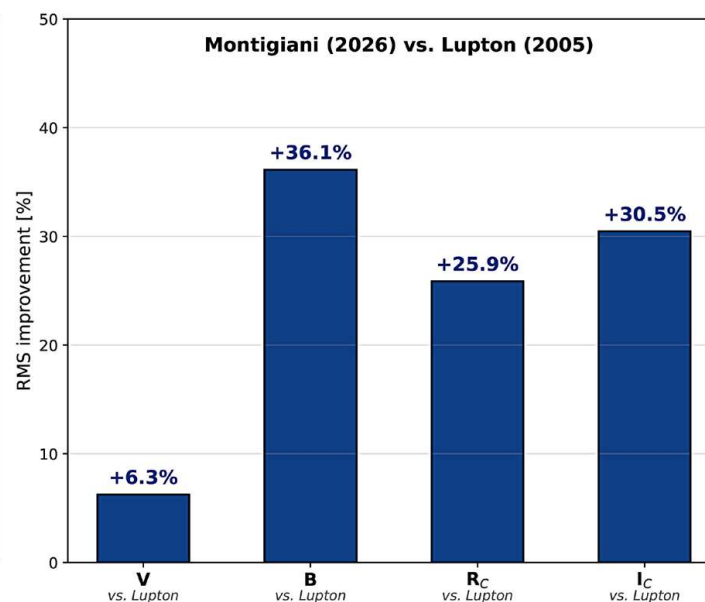
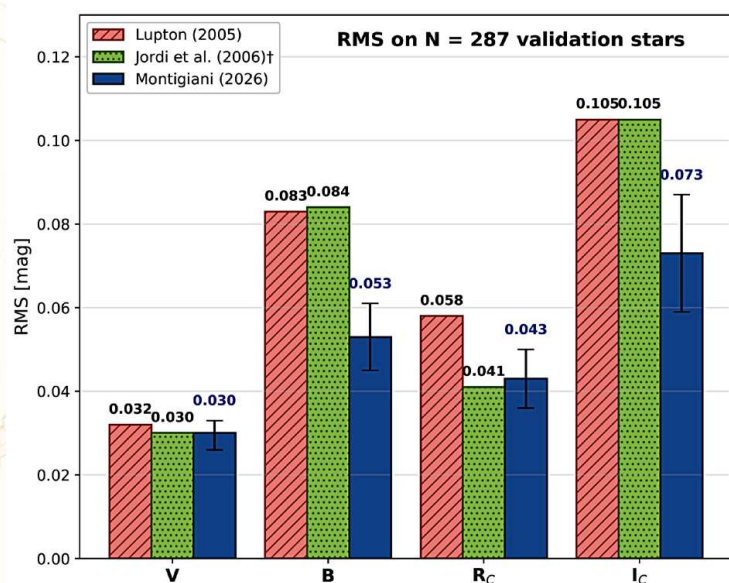
Distribuzione di luminosità, colore e cataloghi del campione di test

	12	14	16	18
	m_A			
	<code>art_curve_fit</code>			
	<code>2):</code>			
	<code>12*(mA-mA)**2</code>			
	<code>odel, mA, mB, sigma=err)</code>			
	<code>opt)</code>			
B	Δm	err		
35	0.34	0.014		
66	0.34	0.013		
99	0.34	0.015		
13.98	14.32	0.34	0.016	
...	...	...	...	



Quanto sono più precise le nuove formule?

RMS ("errore tipico") — di quanto, in media, la magnitudine calcolata dalla formula si allontana dal valore vero della stella, misurato in magnitudini. Più il numero è basso, più la formula è precisa. Il grafico a sinistra mostra questo numero per ogni banda; quello a destra mostra lo stesso risultato in percentuale di miglioramento rispetto alla vecchia formula più usata (Lupton 2005).



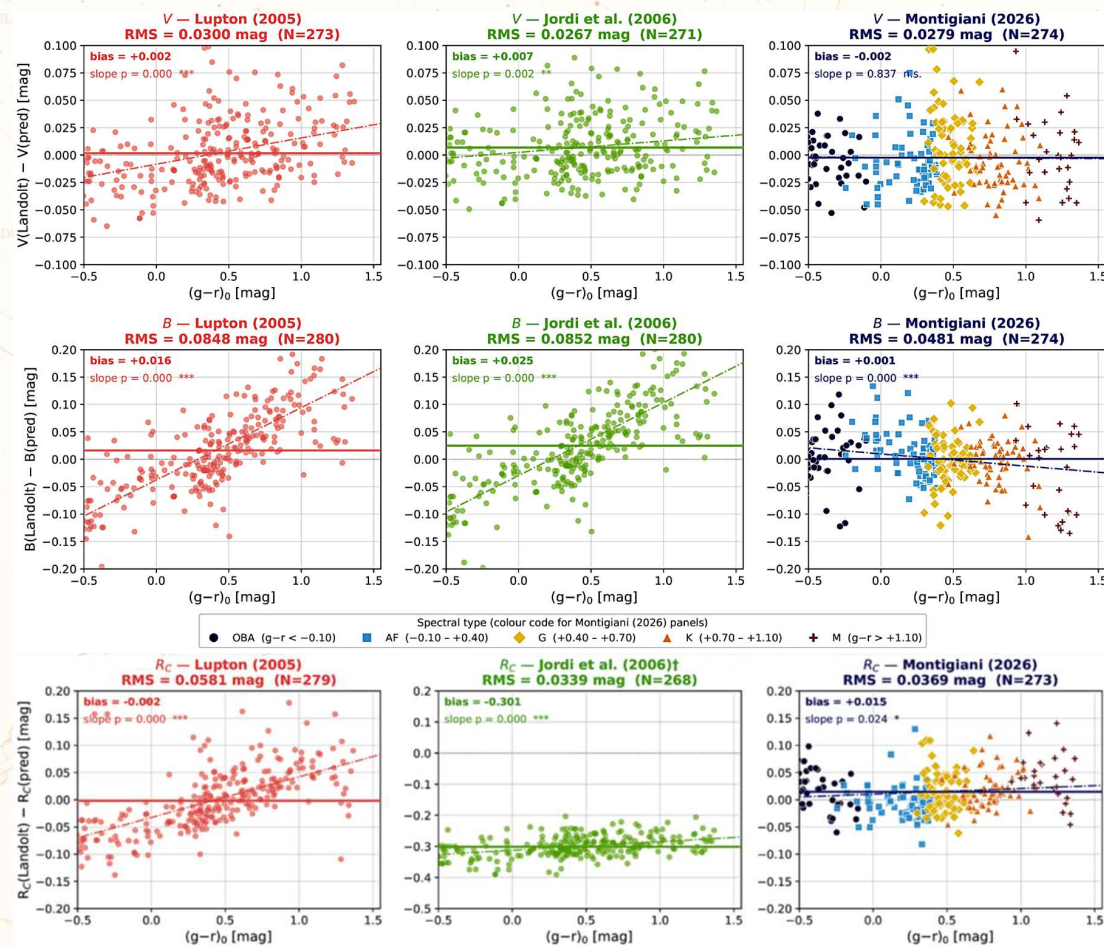
Banda	Errore tipico (±)
V	± 0,030 mag
B	± 0,053 mag
RC	± 0,043 mag
IC	± 0,073 mag (provvisoria)

Con più stelle di confronto mediate insieme, l'errore finale scende ben sotto questi valori — restano solo le incertezze di fondo di APASS (~0,02 mag).

$$\sigma_{\text{media}} = \frac{\sigma_{\text{singola stella}}}{\sqrt{N}}$$

12.65	12.99	0.34	0.014
13.98	14.32	0.34	0.013
...	...	...	...

Nessun errore “nascosto” legato al colore



Guardate le linee tratteggiate: quelle di Lupton e Jordi (rosso e verde) sono inclinate, cioè il loro errore cresce con il colore della stella. La nostra (colonna blu) è quasi piatta: nessuna tendenza reale.

Il “valore p” — un numero statistico che risponde a: “questa tendenza è reale, o è solo un caso?”. Se p è piccolo (sotto 0,05) la tendenza è probabilmente reale. Se p è grande, la sigla “n.s.” (non significativo) vuol dire che non c’è nessun effetto reale.

Banda	Legata al colore?	Legata alla polvere?
V	No	Trascurabile
B	Leggera, ma 5× più piccola che nelle vecchie formule	No
RC	No	No
IC	No	No

Problema nella formula di Jordi et al. (2006) in Rc

−0,30 magnitudini di errore sistematico

Se guardassimo solo l’errore medio (RMS), la formula di Jordi et al. (2006) sembrerebbe addirittura più precisa della nostra: 0.0339 mag contro 0.0369 mag! Quella formula sbaglia sempre nella stessa direzione, di ben 0,30 magnitudini — un errore sistematico costante che gonfia artificialmente la precisione apparente, ma nasconde un problema serio.



I limiti di questo lavoro



1

La versione veloce (B) ha un piccolo margine in più

Con molta polvere interstellare (cieli molto arrossati) conviene passare alla Versione A, più precisa.

3

La formula per IC è ancora provvisoria

Il suo errore tipico resta un po' più alto delle altre bande; per lavori che richiedono massima precisione conviene una calibrazione locale.

5

APASS stesso ha piccoli errori di fondo

Circa 0,02 mag di incertezza di calibrazione, che nessuna formula può correggere del tutto.

Nota: Esiste anche il catalogo APASS DR10, ma presenta problemi noti di precisione, quindi si è scelto di cercare le formule di conversione per la versione più sicura, nota ed usata di APASS, ossia la DR9.

2

Poche stelle rosse fredde nel test

Solo 20 stelle di tipo M nel campione di verifica: fuori dall'intervallo di colore indicato i risultati non sono garantiti.

4

Il campione di test potrebbe crescere

287 stelle di test sono un buon numero, ma servono più standard ben calibrati in zone di cielo poco affollate per ampliarlo ulteriormente.



```

# Conversione APASS DR9 → Johnson-Kron-Cousins BVRcic
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit
def model(mA, a0, a1, a2):
    return a0 + a1*mA + a2*(mA-mA)**2
popt, pcov = curve_fit(model, mA, mB, sigma=err)
res = mB - model(mA, *popt)

```

mA	mB	Δm	err
10.01	10.35	0.34	0.014
11.32	11.66	0.34	0.013
12.65	12.99	0.34	0.015
13.98	14.32	0.34	0.016
...	...	...	...

STRUMENTI PRATICI

Una webapp gratuita sul nostro sito per automatizzare la conversione

Per chi volesse evitare di fare i calcoli a mano e cercarsi le magnitudini da APASS, abbiamo reso disponibile sul nostro sito una webapp gratuita che fa tutto quel che serve:

- ✓ Scarica da sola i dati APASS DR9 per le stelle che vi interessano (se presenti in APASS DR9), fornendole per nome o per coordinate, oppure fornendole in un file .CSV.
- ✓ Calcola da sola la correzione per la polvere interstellare, se la volete usare
- ✓ Applica entrambe le versioni delle formule (A e B)
- ✓ Calcola automaticamente anche l'incertezza di ogni misura
- ✓ Avvisa con un messaggio se la zona di cielo è troppo polverosa per fidarsi

Esiste anche un codice in Python 3, gratuito

`apass2johnson.py`

Dove trovarlo

github.com/Goldrake71/apass2johnson

Dati e articolo

doi.org/10.5281/zenodo.19153252

Il link diretto alla webapp è il seguente:

<https://www.astrofilifiorentini.it/da-apass-a-johnson-cousins/>



Da APASS a Johnson-Cousins

Converti le magnitudini g, r, i del catalogo APASS DR9 nel sistema Johnson-Cousins V, B, Rc, Ic , con le formule di Nico Montigiani pubblicate su JAAVSO (2026). Serve a preparare le stelle di confronto per la fotometria CCD: dai le coordinate o il nome della stella, al resto pensano il catalogo APASS e le mappe di estinzione IRSA.

Cosa vuoi convertire

Una stella Un elenco (CSV)

Nome della stella (facoltativo)

SAO 46213

Trova

BD+43 2630 (*): coordinate inserite.

AR (J2000)

16 39 04.33

Dec (J2000)

+43 24 26.6

Magnitudini g, r, i

Scarica da APASS DR9

Le scrivo io

Formule

Versione B

Versione A

Corregge g, r, i per l'arrossamento, calcola le magnitudini intrinseche e le riporta al valore osservato con i coefficienti Johnson-Cousins. Consigliata quando $E(B-V)$ supera 0,20.

Incertezza su $E(B-V)$, in % del valore (16% secondo SFD 1998)

16

Estinzione $E(B-V)$

Dalle mappe IRSA

La scrivo io

Valore di Schlafly & Finkbeiner (2011) nella direzione della stella. Se IRSA non risponde si usa la stima $0,03/\sin|b|$.

Calcola

Magnitudine V osservata (versione A)

10,320 $\pm 0,072$

SAO_46213 — AR 16:39:04.33, Dec +43:24:26.6. Incertezza totale: errore APASS, calibrazione ed estinzione.

Johnson-Cousins

Banda	Magnitudine	$\pm \sigma$	Intrinseca	$\pm \sigma$	RMS calibrazione
V	10,320	0,072	10,294	0,072	0,030
B	11,145	0,193	11,111	0,193	0,053
Rc	9,835	0,082	9,815	0,082	0,043
Ic	9,518	0,102	9,505	0,102	0,073

• Errore APASS superiore a 0,10 mag su g : la stella potrebbe essere variabile o misurata male.

Dati usati

g	r	i
10,684 $\pm 0,127$	10,049 $\pm 0,060$	10,040
$g-r$	$r-i$	$E(B-V)$
0,635 ($g-r$) $\pm 0,027$	0,009 ($r-i$) $\pm 0,004$	0,009 $\pm 0,001$

$E(B-V)$: IRSA S&F 2011. Stella APASS a 0,4" dalle coordinate date. Per confronto, APASS misura direttamente $V = 10,184$ e $B = 10,732$.

Scarica CSV

Copia i valori



Conclusioni



1

Le nuove formule sono state calcolate su un campione centinaia di volte più grande di quelli usati finora, e verificate su 287 stelle mai usate prima.

2

L'errore tipico si riduce tra il 7% (banda V) e il 36% (banda B) rispetto alla formula più usata finora, senza tendenze nascoste legate al colore.

3

Usare la versione veloce, pensata per il lavoro quotidiano al telescopio, introduce un errore in più sempre trascurabile, tranne in campi molto arrossati da polveri interstellari.

4

Data la mole di dati (oltre 41.000 stelle), parte dell'elaborazione statistica e del codice è stata sviluppata con il supporto di un'Intelligenza Artificiale (Claude, Anthropic) — sotto la supervisione dell'autore.



```
# conversion relation
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit
def model(m_A, m_V, m_B):
```

In conclusione possiamo quindi rispondere alla domanda iniziale: ***“Oggi, con molti più dati e l'ausilio della IA, possiamo migliorare le vecchie formule?”*** affermando, con ragionevole convinzione ed altrettanta cautela, al netto di tutti i limiti già esposti, che: ***“Sì, è stato possibile migliorare le vecchie formule di conversione”***.

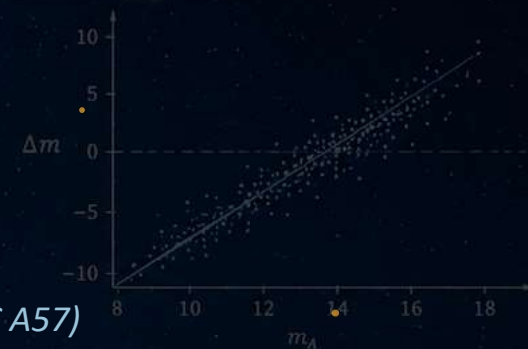
Per chi fosse interessato alla trattazione completa, abbiamo pubblicato l'articolo «Empirical Transformation Formulae from APASS DR9 to the Johnson–Kron–Cousins B V R_c Ic Photometric System» sul numero 54, 2026 del JAAVSO scaricabile all'indirizzo: <https://apps.aavso.org/jaavso/article/4058/>

11.32	11.66	0.34	0.013
12.65	12.99	0.34	0.015
13.98	14.32	0.34	0.016
...	...	...	...

Grazie dell'attenzione

Nico Montigiani- Massimiliano Mannucci

Associazione Astrofili Fiorentini — Osservatorio Astronomico Margherita Hack (MPC A57)



```
# conversion relation
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit
def model(mA, a0, a1, a2):
    return a0 + a1*mA + a2*(mA-mA)**2
popt, pcov = curve_fit(model, mA, mB, sigma=err)
res = mB - model(mA, *popt)
```

m_A	m_B	Δm	err
10.01	10.35	0.34	0.014
11.32	11.66	0.34	0.013
12.65	12.99	0.34	0.015
13.98	14.32	0.34	0.016
...	...	...	...