

## **I coefficienti di trasformazione fotometrica**

### **Principi generali**

In questo articolo non troverete formule matematiche ma soltanto una riflessione sui principi generali. Inoltre faremo alcuni semplici esperimenti mentali per facilitare la comprensione dei concetti più importanti connessi con la fotometria.

### **Esperimento mentale #1**

Uscite all'aperto verso mezzogiorno durante una giornata serena, e lasciate che la luce solare illumini direttamente un foglio di carta bianca. Probabilmente direte che una brillante luce bianca sta illuminando la carta.

Fatelo di nuovo, ma questa volta poco prima del tramonto. Probabilmente direte che una luce rossa più debole sta illuminando il foglio.

Che è successo? Il sole è cambiato? No. Ma in questo caso la luce solare ha attraversato molta più atmosfera.

D'accordo, allora si sarebbe dovuta avere una luce \*bianca\* più debole, non è vero? Ovviamente questo non è accaduto, così è chiaro che qui sta accadendo qualcosa'altro.

Principio #1: la nostra atmosfera assorbe una parte della luce che ci raggiunge dallo spazio. Questa luce attraversa molta più atmosfera quando la sorgente appare più vicina all'orizzonte, cosicché gli oggetti appaiono più deboli quando sono bassi e più luminosi quando sono più alti.

Principio #2: la nostra atmosfera non assorbe tutti i colori in egual misura. La luce rossa ne risente meno (ed è quella che vedete nei colori del tramonto ... perché raggiunge i vostri occhi), mentre la luce blu ne risente di più (poca luce blu raggiunge i nostri occhi da una sorgente di luce bassa sull'orizzonte).

### **Esperimento mentale #2**

Anche oggi è una giornata serena, ma l'aria è diversa. Può trattarsi di una giornata ventosa che ha sollevato una tempesta di sabbia, oppure del fumo che l'incendio di una lontana foresta ha sollevato sopra la vostra testa. In ogni caso, ci sono molte cose nell'aria oggi. Osservate un foglio di carta bianca illuminato dal sole a mezzogiorno e poi di nuovo al tramonto. Cosa vedete? La luce a mezzogiorno non è così brillante come quella del giorno "trasparente" e può darsi che abbia una leggera tinta giallastra o arancione. E al tramonto? Se si tratta davvero di fumo/sabbia ... il sole potrebbe essere a malapena visibile e di colore rosso intenso.

Principio #3: la quantità di luce che la nostra atmosfera assorbe può cambiare a seconda delle condizioni atmosferiche (Cosa che non succede durante i giorni sereni o, il che è lo stesso, durante le notti serene).

Accidenti! Quella dannata atmosfera fa sì che qualcosa di semplice, come l'osservare il nostro sole che splende di luce costante, cambi di intensità e di colore ..., di ora in ora, di giorno in giorno! Come si può misurare la luminosità delle stelle se l'atmosfera cambia così tanto le cose? (Ci sono delle scappatoie per aggirare questo problema ... le vedremo fra poco).

### **Esperimento mentale #3**

Durante una notte serena state osservando due stelle che sono vicine fra loro - binocolo, telescopio non è importante. Ciò che è importante è che queste due stelle sono abbastanza vicine fra loro ... diciamo siano separate di due gradi o meno. Queste due stelle hanno lo stesso colore ... entrambe arancioni, o entrambe

blu non ha importanza. Inoltre ai vostri occhi appaiono egualmente luminose. Le state osservando quando sono alte nel cielo. Aspettate alcune ore e le osservate di nuovo quando si trovano molto più vicine all'orizzonte ... poco prima del loro tramonto. Sicuramente vi sembrano meno luminose, ma come appaiono l'una in confronto all'altra? Sono ancora di eguale luminosità? (Abbiamo supposto che queste stelle siano costanti e non si tratti di stelle variabili).

Certo, sono meno luminose, ma sono ancora egualmente luminose.

Soluzione #1: confrontate la luminosità di stelle che non sono troppo distanti fra loro. Ciò eliminerà gli effetti negativi dell'atmosfera. (questa non è la soluzione ideale ... diciamo che è una soluzione al 75%.) ("Non troppo distanti" significa un grado o meno ... che è una situazione ideale per un telescopio. Ma che dire di un obiettivo fotografico? ... qui c'è un problema dal momento che il campo inquadrato è molto più ampio. Per il momento ci limiteremo a considerare campi telescopici ristretti evitando così il problema degli obiettivi fotografici a grande campo.)

NOTA: stiamo misurando la luminosità confrontando le stelle fra loro. Questa tecnica si chiama fotometria differenziale. (Qual è la magnitudine assoluta di una stella? Non lo sappiamo. Sappiamo solo quanto è luminosa in confronto ad una stella di campo vicina. Comunque questo è un buon punto di partenza nel mondo della misura.)

#### **Esperimento mentale #4**

Durante una notte serena state osservando due stelle che sono vicine fra loro - binocolo, telescopio non è importante. Ciò che è importante è che queste due stelle sono abbastanza vicine fra loro ... diciamo siano separate di due gradi o meno. Inoltre queste due stelle hanno colori \*diversi\* una è arancione, una è blu. Comunque ai vostri occhi appaiono egualmente luminose. Le state osservando quando sono alte nel cielo. Aspettate alcune ore e le osservate di nuovo quando si trovano molto più vicine all'orizzonte ... poco prima del loro tramonto. Sicuramente vi sembrano meno luminose, ma come appaiono l'una in confronto all'altra? Sono ancora di eguale luminosità? (Abbiamo supposto che queste stelle siano costanti e non si tratti di stelle variabili).

No davvero. La stella arancione questa volta appare più luminosa della stella blu.

Principio #4: man mano che una stella si abbassa sull'orizzonte, una stella più rossa si affievolisce lentamente, mentre una stella più blu diventa velocemente meno luminosa. (Al contrario quando una stella sale nel cielo, una stella più rossa diventa più luminosa lentamente, mentre una stella più blu diventa velocemente più luminosa.)

Doppio accidenti! Grazie alla nostra atmosfera, ci stiamo allontanando dal nostro obiettivo di misurare la luminosità di una stella con un sufficiente grado di attendibilità e precisione.

Cosa succede se le due stelle hanno lo stesso colore? In quel caso, le due stelle diventerebbero meno luminose in egual misura man mano che si abbassano sull'orizzonte (e analogamente più luminose in egual misura man mano che si alzano nel cielo).

Ma le stelle hanno colori diversi ... e voi non potete cambiare questo fatto.

Bene, qui c'è una scappatoia:

Soluzione #2: se possibile, confrontate fra loro stelle che hanno colori ragionevolmente simili. (Qualche volta ciò non è per niente facile. Nel cielo primaverile povero di stelle, come ad esempio nella costellazione del Leone, ... potreste non trovare una stella di campo vicina di colore simile. In questo caso

siete costretti ad usare stelle di colore differente, che non è per niente una buona soluzione. Tuttavia in alcuni casi questa potrebbe essere l'unica soluzione.

NOTA: stiamo facendo fotometria senza filtri ... e dobbiamo perciò stare molto attenti e cercare di trovare una stella di colore quanto più simile alla stella che stiamo studiando. In caso contrario, la nostra accuratezza ne soffrirà.

Forse si \*può\* cambiare il colore delle stelle?

#### **Esperimento mentale #5**

Avete trovato alcuni vecchi filtri di vetro che risalgono ai giorni quando voi (o vostro padre) usavate le pellicole fotografiche ... rosso, verde, blu. Osservate una stella bianca con il filtro rosso - come appare? Rossa. E attraverso il filtro blu? Blu. E appare verde con il filtro verde.

Ciò non è troppo sorprendente, dal momento che la luce bianca è costituita da tutti i colori.

Che accade con una stella rossastra? Con il filtro rosso, appare rossa, con il verde appare verde (ma un po' più luminosa) e con il filtro blu appare blu ... ma un po' meno luminosa.

Principio #5: le stelle di diverso colore (eccetto quelle esotiche che per il momento non considereremo) emettono sempre un po' di luce costituita da tutti i colori dello spettro. (Insegne al neon, lampade stradali ai vapori di mercurio ... queste hanno un solo colore o comunque pochi colori ben precisi. Le stelle invece, in prima approssimazione, mostrano fino ad un certo punto tutti i colori.

Hmmmm, abbiamo scoperto un modo per "costringere" tutte le stelle ad avere lo stesso colore ... usiamo un filtro. Adesso possiamo far sì che si comportino tutte nella stessa maniera in termini di colore/luminosità e di come l'atmosfera influisce sul colore/luminosità man mano che sorgono e tramontano.

Soluzione #3: usate un filtro per "costringere" tutte le stelle ad avere lo stesso colore. (questa non è la soluzione ideale ... diciamo che è una soluzione al 90%.)

#### **Esperimento mentale #6**

Avete imparato che esistono filtri fotometrici standard per applicazioni scientifiche, e ne avete visti alcuni al corso di fisica delle medie superiori, dimenticati in qualche armadietto. Avete visto il filtro V (che lascia passare la luce verde), il filtro B (blu) e il filtro R (rosso). Confrontateli con i vostri filtri rosso/verde/blu per pellicole fotografiche. Guardando attraverso i filtri, vi rendete conto che si comportano in modo molto simile, ma tuttavia non identico. Nel caso specifico, vi rendete conto che il vostro filtro verde fotografico, in confronto al filtro V fotometrico, lascia passare più luce rossa ed un po' meno di luce blu. In altre parole, il vostro filtro verde fotografico è "più rosso" del filtro V fotometrico ... la sua banda di trasmissione è spostata verso il rosso situato alla estremità dello spettro.

OK, adesso effettuate con cura alcune misure delle stelle con questi due filtri. Che cosa troverete? Se la stella è bianca, troverete che la sua luminosità è all'incirca eguale con i due filtri, Se la stella è rossa ... vi accorgete che il filtro verde fotografico farà sembrare la stella un po' più luminosa che con il filtro V fotometrico. E se la stella è blu, il vostro filtro fotografico verde la farà sembrare un po' meno luminosa che con il filtro V fotometrico.

Perché? Nel caso delle stelle rosse, queste presentano un'emissione maggiore nel rosso che negli altri colori. Il vostro filtro verde fotografico ha una banda di trasmissione che è spostata verso il rosso. In confronto al filtro V

fotometrico, il vostro filtro verde fotografico lascia passare più luce proveniente da una stella rossa. (Con le stelle blu avviene il contrario. Queste stelle emettono più luce blu e meno luce rossa. Il vostro filtro verde fotografico lascia passare meno luce in confronto al filtro V fotometrico.)

Principio #6: non tutti i filtri fotometrici sono identici/eguali. Piccole differenze permangono ... piccole deviazioni dalla soluzione ideale. Questo comporterà piccoli scostamenti nelle vostre misure. (La stessa cosa si può dire delle ottiche del telescopio, del chip del CCD, dell'atmosfera ... tutti loro introducono scostamenti/errori/deviazioni dalla soluzione ideale.)

Qual è il luogo ideale per fare fotometria? Fuori dalla nostra atmosfera. E in ogni caso utilizzando una strumentazione che ha una risposta/banda passante "ideale".

Per fortuna, lo scostamento della vostra strumentazione al suolo dagli standard è facilmente misurabile e ripetibile ... almeno se la utilizzate accuratamente.

Soluzione #4: misurate la luminosità delle stelle con il vostro sistema filtri/CCD/telescopio/atmosfera "imperfetto" e confrontate i vostri risultati con i valori trovati su un "catalogo". Analizzate le differenze, e probabilmente scoprirete che sono ripetibili e costanti.. A questo punto, correggete applicando la differenza alle vostre misure e queste dovrebbero essere compatibili (molto vicine) ai valori presi dal "catalogo".

NOTA: in linea di massima questo è il nocciolo della fotometria differenziale trasformata. Avete utilizzato pratiche consolidate e determinato i vostri piccoli scostamenti dai valori a catalogo Adesso potete produrre misure ben calibrate ... come se steste effettuando misure sopra l'atmosfera con un sistema perfetto/ideale. E, se altre persone in giro per il mondo, fanno la stessa calibrazione dei loro strumenti in maniera simile ... le vostre misure dovrebbero essere in ottimo accordo le une con le altre. Ciò rende la collaborazione molto più facile.

Questa comunque non è la soluzione ideale ... diciamo che è una soluzione fra il 98% ed il 99%.

Ricordate, differenti progetti fotometrici richiedono differenti livelli di calibrazione. All'inizio lavorate con la soluzione al 75% ... scegliete stelle che sono vicine l'una all'altra, e che hanno colori simili. In seguito, potrete aggiungere i filtri, e con questo migliorerete la vostra soluzione fino al 90%. Infine potrete misurare le deviazioni dei vostri filtri dallo "standard aureo" ... a questo punto potrete lavorare al livello del 98-99%.

La storia della misura ha un esempio per noi. Secoli fa un pollice era definito come tre BARLEYCORN. Più tardi, il metro fu definito come la distanza fra due sottili incisioni in una barra di metallo con scarsa dilatazione termica. Oggigiorno la lunghezza è definita in termini di lunghezza d'onda della luce (di un ben preciso colore) nel vuoto. La fotometria è analoga ... con il tempo e l'esperienza possiamo imparare a fare misure sempre più precise.

# [Aavso-photometry] Photometric transformation coefficients - general concepts

Tom Krajci [tom\\_krajci at tularosa.net](mailto:tom_krajci@tularosa.net)

Fri Jun 19 00:37:57 EDT 2009

---

Below is something I wrote up to help get some general concepts across. Please feel free to use it.

Did I make any fundamental mistakes?

--

-----  
Tom Krajci  
Cloudcroft, New Mexico  
<http://picasaweb.google.com/tom.krajci>

Center for Backyard Astrophysics (CBA)  
<http://cbastro.org/> CBA New Mexico

American Association of Variable Star  
Observers (AAVSO): KTC <http://www.aavso.org/>

-----

=====

Photometric transformation coefficients - general concepts

There is no math in this post, only a discussion of general concepts.

We're gonna conduct some simple thought experiments to help explain concepts that are important to photometry.

Thought experiment 1

Step outside on a clear day near noon, and let sunlight fall on a piece of white paper. You'd say that bright white light is falling on the paper.

Do this again, but just before sunset. You'd say that fainter red light is falling on the paper.

What happened here? Did the sun change? No. But the sunlight traveled through much more atmosphere in the case just before sunset.

OK, then it should have been fainter \*white\* light, yes? Obviously it isn't, so something else is going on here.

Concept #1: Our atmosphere cuts down the amount of light that reaches us from space. This light travels through more atmosphere when the source appears closer to the horizon, so objects appear fainter when low, and brighter when high.

Concept #2: Our atmosphere does not cut down all colors of light equally. Red light is affected least (that's what you see in the sunset colors...it reaches your eyes), and blue is affected the most (little blue light reaches our eyes from light sources low on the horizon).

## Thought experiment 2

Today it's clear, but the air is different. It may be a windy day dust storm, or smoke from a distant forest fire has drifted over you. Anyway, there's more stuff in the air today. Look at sunlight on white paper at noon, and just before sunset. What do you see? The noon light is not as bright as the 'transparent' day, and it may even have a yellow or orange tint. And sunset? If it's really heavy smoke/dust...the sun may be barely visible, and very deep red.

Concept #3: The amount of light that our atmosphere removes can change, depending on atmospheric conditions. (Not all clear days, or nights, are equal.)

Ouch! That darned atmosphere makes something simple, like observing our constant sun...change brightness and color...from hour to hour, and day to day! How can you measure brightness of stars when the atmosphere changes things so much? (There are 'work arounds' to this problem...and we'll get to them in a bit.)

## Thought experiment 3

One clear night you're observing two stars that are close to each other - binoculars, telescope, it's not important. What's important is that these two stars are fairly close to each other...a couple degrees separation or closer. These stars are also the same color...both are orange, or both are bluish...doesn't matter. But to your eye they are the same brightness. You are observing them when they are high in the sky. Wait a few hours and observe them when they are much closer to the horizon...just before setting. Sure they look fainter, but how do they compare to each other? Are they still equal brightness? (We'll assume these are constant stars, not variable stars.)

Yes, they are fainter, but they are still equal to each other in brightness.

Solution #1: Compare the brightness of stars that are not widely separated. That will eliminate the negative effects of the atmosphere. (This is not a perfect solution...let's call it a 75% solution.) ('Close together' is less than one degree...which is fine for most telescopes. But camera lenses?...that's a problem because they cover wide fields. We'll stick with narrow angle telescopes for now and avoid the problem of wide angle camera lenses.)

NOTE: We are measuring brightness by making comparisons to other stars. This is known as differential photometry. (What's the absolute brightness of a star? We don't know. We just know how it compares to a nearby star. But that's a pretty good start in the world of measurement.)

## Thought experiment 4

One clear night you're observing two stars that are close to each other - binoculars, telescope, it's not important. What's important is that these two stars are fairly close to each other...a couple degrees separation or closer. Also, these stars are \*different\* colors...one is orange, one is bluish. But to your eye they are the same brightness. You

are observing them when they are high in the sky. Wait a few hours and observe them when they are much closer to the horizon...just before setting. Sure they are fainter, but how do they compare to each other? Are they still equal brightness? (We'll assume these are constant stars, not variable stars.)

No. The orange star now appears brighter than the bluish star.

Concept #4: As stars set, redder stars get fainter slowly, and bluer stars get fainter faster. (Conversely, as stars rise, redder stars get brighter slowly, and bluer stars get brighter faster.)

Double ouch! Thanks to our atmosphere, we're getting farther from our goal of measuring star brightness with any sort of confidence and accuracy.

What if the stars were the same color? In that case, they would get equally fainter as they set (and equally brighter as they rose).

But stars come in various colors...and you can't change that.

Well, here's one work around:

Solution #2: If possible, compare brightness between stars that are reasonably well matched in color. (Sometimes that's not easy. In the star-poor spring sky, such as Leo,...you may not find a nearby star of a similar color. You may have to use mis-matched stars, which is not a good solution. But it may be the only solution in some cases.)

NOTE: We are doing unfiltered photometry...and we need to be careful and try and match the color of the stars we study. If not, our accuracy suffers.

Perhaps you \*can\* can change the color of stars?

Thought experiment 5

You found some old glass filters from your (or your father's) film-photography days...red, green, blue. Look at a white star through the red filter - what does it look like? Red. Through the blue filter? Blue. And it looks green in the green filter.

That's not too surprising, because white light is all colors combined.

What about a reddish star? Through the red filter it looks red, in green it looks green (but a bit less bright), and in the blue filter it's blue...but even fainter.

And a blue star? Through the red filter it looks red (but somewhat faint), in green it looks green (but a bit brighter), and in the blue filter it's blue...but even brighter.

Concept #5: Stars (except exotic ones, which we'll ignore for now) of various colors still have some amount of light from all colors of the rainbow. (Neon signs, mercury vapor street lights...they only have one, or a few discrete colors. But stars, at a simple level, show all colors to some extent.)

Hmmmm, we may have found a way to 'force' stars to have the same color...use a filter. Now we can get them to behave the same way in terms of color/brightness, and how the atmosphere affects color/brightness as they rise and set.

Solution #3: Use a filter to 'force' all stars to have the same color. (This is not a perfect solution...let's call it a 90% solution.)

#### Thought experiment 6

You learn that there are standard photometric filters for science purposes, and you find some in the high school physics classroom, forgotten in a drawer. You learn that they have a V filter (passes green light), and B (blue) and R (red). You compare them to your film-photography red/green/blue filters. Looking through them, these two sets of filters are similar, but not identical. In your case, you find your film/green filter, compared to the photometry/V filter, passes a bit more red light, and a bit less blue light. In other words, your film/green filter is 'redder' than the photometric/V filter...it's bandpass is shifted toward the red end of the spectrum.

OK, make some careful measurements of stars with these two filters. What do you find? If the star is white, you'll find its brightness is pretty much equal in these two filters. If the star is red...you'll find your film/green filter shows that star a bit brighter than through the photometry/V filter. And if the star is blue, your film/green filter shows it as a bit fainter than through the photometry/V filter.

Why? For the example of red stars, they have a larger output of red light than other colors. And your film/green filter has a bandpass that's shifted toward the red. Compared to the photometry/V filter, your film/green filter passes more light from a red star. (And for blue stars it's the opposite. Those stars have more blue, and less red light. Your film/green filter passes less light compared to the photometry/V filter.)

Concept #6: Not all photometry filters are created identical/equal. Small differences exist...small deviations from the ideal definition. This will create small offsets in your measurements. (And the same can be said of your telescope optics, and CCD chip, and your atmosphere...they also introduce shifts/errors/deviations from the ideal.)

Where is this ideal place to do photometry? Above our atmosphere. And, using equipment that has the 'ideal' bandpass/response.

Fortunately, the deviation of your ground-based equipment from the standard is pretty much repeatable...at least if you're careful in using it.

Solution #4: Measure brightness of stars with your 'imperfect' filters/CCD/scope/atmosphere, and compare your results to 'catalog' values. Analyze the differences, and you'll probably find that they are repeatable and consistent. Then, apply a difference correction to your measurements and they should (pretty closely) match the 'catalog values.'

NOTE: This is the essence of transformed differential photometry. You've used good practices, and determined your small offsets from catalog

values. You can produce well calibrated measurements...as if you were making measurements from above the atmosphere, with a perfect/ideal system. And, if other folks around the globe do similar calibration of their equipment...your measurements should be in very good agreement. That makes collaboration much easier.

This is not a perfect solution...let's call it a 98% to 99% solution.

Remember, different photometry projects require different amounts of calibration. In the beginning you work with the 75% solution...choose stars close to each other, and that have similar colors. Later, you can add filters, and that can improve your solution to 90%. Then you measure your filter deviations from the gold standard...and you can work at the 98-99% level.

The history of measurement has examples for us. Centuries ago one inch was defined as three barleycorn. Later, the meter was defined as the distance between two thin scratches in a bar of low-expansion metal. These days length is defined in terms of light wavelengths (of a precise color) in a vacuum. Photometry is the same way...with time and experience you learn to make more precise measurements.

=====