



FAULKES TELESCOPE

IMMAGINI A COLORI

La scienza delle immagini a colori e dei CCD



autore: Daniel Duggan

traduzione e adattamento Alessandra Zanazzi



Introduzione teorica 1 – immagini a colori

Cos'è il colore?

Per l'uomo il colore è la percezione di certe frequenze della luce; è comparabile con l'altezza di un suono, che è la nostra percezione della frequenza dell'onda sonora. L'occhio umano percepisce il colore utilizzando due tipi diversi di cellule: i coni, che registrano informazioni sul colore, ed i bastoncelli, che invece sentono l'intensità della luce e non il colore (anche se sono più sensibili dei coni ai bassi livelli di intensità luce). I coni sono di tre tipi, e ciascuno è sensibile a una parte dello spettro visibile: possiamo dire che queste cellule sono sensibili a rosso, verde e blu, i colori primari della luce. Quando i segnali provenienti da queste cellule raggiungono il cervello, possono essere messi insieme e interpretati come un'ampia gamma di colori.

Quando la luce è poca, i coni perdono sensibilità e non riusciamo a percepire i colori; nell'occhio funzionano i bastoncelli e si vede in bianco e nero.

Nella pellicola di una macchina fotografica, si possono raggiungere risultati analoghi alla visione a colori sovrapponendo a sandwich diversi strati di materiale sensibile a diverse frequenze di luce; poiché ognuno degli strati è sensibile ad un colore diverso, si registrano informazioni sui colori di un oggetto o una scena e con lo sviluppo si ottengono immagini colorate.

Noi siamo interessati a come si ottiene una immagine a colori elettronica; questo si fa con un CCD (Charge Coupled Device, dispositivo ad accoppiamento di carica)

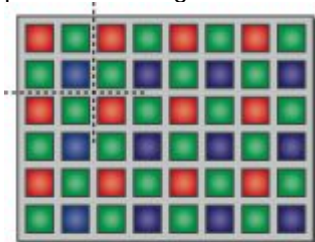
Cosa sono i CCD?

CCD è una sigla per Charge Coupled Device (dispositivo ad accoppiamento di carica).

I CCD sono stati inventati verso la fine degli anni 60 e sono oggi utilizzati in vari apparecchi. Ad esempio, le macchine fotografiche digitali standard, quelle che vi portate in vacanza per fotografare le vostre avventure, usano un CCD. Il CCD è sensibile alla luce, la converte in carica elettrica, che viene a sua volta misurata e registrata in un file del computer.

Il CCD è una matrice (una serie ordinata) di condensatori, ognuno dei quali ha la capacità di immagazzinare cariche elettriche: i condensatori della matrice sono gli elementi di immagine (*picture elements*, i famosi *pixels*) del CCD. I pixels si caricano per effetto fotoelettrico, che avviene quando un fotone di luce che colpisce un materiale viene convertito in carica elettrica; i pixels immagazzinano questa carica finché un circuito elettrico viene collegato al CCD, in modo da far sì che il valore della carica immagazzinata in ogni elemento possa essere convertito in un valore numerico e trasferito nel computer per essere registrato.

Una volta che i dati sono stati registrati, l'immagine originale può essere riprodotta sullo schermo del pc come vedremo nella prossima sezione. Poiché i CCD sono molto più sensibili alla luce della pellicola fotografica, l'hanno ormai rimpiazzata in molte applicazioni.



RGB Bayer pattern

Nell'immagine a lato si vede la disposizione dei pixels in un CCD a colori: ci sono pixels sensibili al rosso, al verde e al blu, così come nell'occhio ci sono coni sensibili alla luce rossa, verde e blu. Il disegno a lato è conosciuto come la configurazione di *Bayer (filtration pattern)* che è usata nella maggioranza dei CCD delle macchine fotografiche a colori: ogni pixel è coperto da un filtro colorato, in modo che solo la luce di quel colore può essere registrata da quel pixel. Poiché sappiamo com'è fatto il CCD e a quale filtro colorato corrisponda ciascun pixel

nel CCD, possiamo sapere l'intensità della luce rossa, verde e blu in ogni punto del CCD e questa informazione può essere utilizzata per riprodurre a colori l'immagine registrata sullo schermo del computer.

Come viene mostrata l'immagine dal monitor?

Se guardate attentamente, da vicino, uno schermo di computer potete vedere che è fatto di pixels rossi, verdi e blu. Ancora una volta i colori primari della luce giocano un ruolo fondamentale nel produrre un'immagine a colori. Le immagini della TV si formano esattamente nello stesso modo.

Usando solo tre colori, si possono produrre praticamente tutti gli altri sullo schermo del computer o del televisore. Si chiama sintesi additiva dei colori.

E le immagini astronomiche a colori?

In effetti, a differenza dei CCD commerciali, che sono a colori, i CCD di tipo astronomico sono solo in bianco e nero e le immagini astronomiche a colori si ottengono da tre immagini diverse in bianco e nero! Raramente in effetti gli astronomi hanno bisogno raramente di immagini a colori (alcuni di loro non ne hanno mai utilizzate!) mentre hanno bisogno di ottenere immagini anche fuori dallo spettro visibile (ad esempio nell'infrarosso nell'ultravioletto, etc) e i CCD a colori commerciali servono solo per registrare la luce del visibile; quindi nel CCD astronomico non ci sono filtri già inseriti nel CCD e i pixel sono sensibili a un'ampia gamma di frequenze.

D'altro canto, se si prendono immagini usando un filtro ad una certa frequenza (colorato) di fronte a tutto il CCD, ad esempio un filtro rosso, si sa che la luce che vede il CCD è solo quella rossa, per cui si ottengono immagini che registrano su ogni punto del CCD l'intensità dell'emissione nel rosso dell'oggetto ripreso. Lo stesso accade se si usa un filtro verde o uno blu: dalle immagini nei tre colori, si ottiene lo stesso tipo di informazioni che si potrebbe registrare su un CCD commerciale, con la grande differenza che la risoluzione dei colori sarà migliore, perché per ogni colore tutti i pixel sono stati coinvolti nella registrazione.



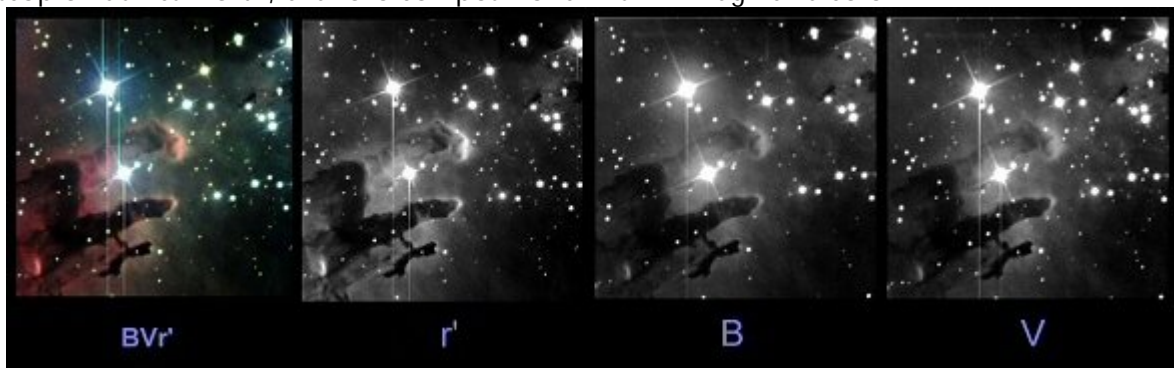
La foto a destra mostra la ruota dei filtri montata al telescopio Faulkes North, alle Hawaii. Sul sito web del telescopio¹ si può vedere un'animazione di come funziona la ruota dei filtri con il CCD.

Nell'immagine della pagina successiva, vedete come si ottiene un'immagine a colori dalle immagini originali del telescopio.

Ottenere immagini a colori da quelle monocrome prese con i filtri colorati

Come detto nella sezione precedente, per ottenere un'immagine a colori il telescopio prende tre immagini, una con il filtro rosso, una con il verde, una con il blu. Tecnicamente si chiamano filtri R, V e B: R sta per Red, rosso; V sta non per verde (perché verde in inglese si dice Green!) ma per Visual, perché di fatto il filtro verde corrisponde al massimo della risposta dell'occhio umano, che si trova in corrispondenza del colore verde-giallo; e B sta per Blue, blu.

Ad esempio sotto possiamo vedere immagini dello stesso oggetto prese con i filtri R, V, B dal telescopio Faulkes North, e la loro composizione in un'immagine "a colori"



Le immagini mostrano l'intensità della luce in ogni colore, ma di fatto non sono colorate di rosso verde e blu come forse ci si potrebbe aspettare. Per ottenere l'immagine a colori, bisogna aggiungere il colore alle immagini separate e poi mettere le immagini colorate assieme.

¹ <http://faulkes-telescope.com/>

Introduzione teorica 2. il colore nelle immagini astronomiche

Ma allora nelle immagini di profondo cielo che si vedono, i colori sono "reali"? Sono "precisi"? Rispondere a queste domande vuol dire rispondere anche ad altre domande: come si definiscono i colori, come si percepiscono e come si registrano. La luce può essere definita, misurata e quantificata oggettivamente attraverso la lunghezza d'onda. Ma il colore e la sua percezione da parte degli uomini è soggettivo, per via dell'interpretazione che ne deve dare il cervello. L'accuratezza del colore nelle immagini registrate è complicata proprio da queste considerazioni.

La fotografia normale

In una normale foto scattata di giorno, possiamo riprodurre abbastanza fedelmente i colori della natura. La prova di ciò sembrerebbe semplice, facciamo una foto in condizioni controllate e la paragoniamo agli oggetti originali... Comunque, per essere veramente critici, è di fatto praticamente impossibile registrare perfettamente tutti i colori in una scena, per via delle limitazioni del mezzo di registrazione, della scala dei colori e altri problemi più difficili da spiegare qui. Perciò anche in questo semplice esempio non è possibile un'accuratezza completa nella riproduzione dei colori naturali. Se volete rendervi conto di questo da soli, scattate una foto a dei fiori celesti, per esempio, e potrete verificare una differenza significativa tra l'immagine che vede la macchina fotografica e quello che avete visto dal vivo, perché la pellicola è più sensibile dell'occhio alla luce ultravioletta. Inoltre la questione dell'accuratezza del colore che vediamo è ulteriormente complicata dall'associazione occhio/cervello; la nostra percezione è molto adattabile al colore della luce che illumina gli oggetti. Ad esempio consideriamo una scena illuminata da sorgenti luminose diverse, come una lampada al tungsteno, una fluorescente o la luce del sole: la luce della lampada al tungsteno è molto rossa, quella fluorescente è spesso verdognola e quella del sole è naturale, ma il nostro occhio compensa e in ogni caso la scena ci appare perfettamente naturale. Se registrate su una pellicola queste scene i colori sono distorti dal tipo di luce che le illumina e guardando le foto la nostra percezione è quella di avere colori sbagliati.²

L'astrofotografia

Qualunque astrofilo con un po' di esperienza ha realizzato che, anche con un grande telescopio, difficilmente gli oggetti celesti appaiono colorati al nostro occhio. Questo accade per via del fatto che questi oggetti non sono abbastanza brillanti da stimolare i coni dell'occhio (che attivano la visione a colori) al centro della retina, nella *fovea centralis*. Come abbiamo detto all'inizio, le cellule che si attivano in presenza di poca luce sono invece solo i bastoncelli, che non sono in grado di rilevare i colori, ma sono molto sensibili al movimento e si trovano attorno alla periferia della *fovea centralis*.³

I colori possono essere visti in oggetti davvero molto luminosi, come certe stelle e nebulose planetarie brillanti; praticamente nessuna nebulosa gassosa a emissione o a riflessione appare colorata, perché sono tutte molto deboli. Una delle poche che si vede a colori è M42, la Nebulosa di Orione: è così luminosa che gli osservatori più esperti possono distinguere il verde e un po' di rosa/rosso/magenta.

Il giallo e il verde si vedono perché, se un oggetto emette abbastanza luce da stimolare i coni, questa è la frequenza a cui essi sono più sensibili. Quando percepiamo il verde in un oggetto come l'area del Trapezio all'interno di M42, questo è dovuto principalmente alle emissioni dell'ossigeno

² Il neurologo clinico Oliver Sacks, nel suo libro *Un antropologo su Marte* sostiene la verità neurologica che i colori non sono "là fuori nel mondo", né (come diceva la teoria classica) una correlazione automatica con la lunghezza d'onda, ma piuttosto sono costruiti dal cervello.

³ Per questo, per riuscire a vedere anche oggetti molto deboli, a volte si può usare il trucco della "averted vision" (visione distolta), osservandoli leggermente fuori asse in maniera intenzionale: in questo modo si riescono a individuare anche oggetti molto deboli, specialmente se il telescopio viene mosso leggermente durante l'osservazione.

OIII (ionizzato due volte) a 500.7 nanometri, che eccitano i coni dell'occhio al limite estremo della loro sensibilità al colore. Il rosso che eventualmente si riesce a distinguere in questi oggetti viene dalle emissioni della riga Ha dell'Idrogeno a 656.3 nanometri, all'altro estremo della sensibilità dei coni. Ma queste righe devono essere estremamente forti per avere un'intensità sufficiente a riuscire a eccitare i coni dell'occhio.

Il problema con le nebulose deboli è quindi che non sono mai abbastanza brillanti da stimolare i coni dell'occhio, sono viste attraverso i bastoncelli, e i bastoncelli non sono proprio in grado di vedere i colori: perciò se la nostra definizione di colore vero è "il colore che vede l'occhio" allora solo le immagini in bianco e nero sono accurate!

Il colore nelle immagini astronomiche

Il fatto che il colore di questi oggetti celesti non sia visibile all'occhio, non vuol dire che non possa essere registrato da altri strumenti, come le macchine fotografiche.

Foto a lunga esposizione possono rivelare colori in oggetti che sono troppo deboli per la visione a colori. Inoltre se è vero che sorgenti nel continuo come le stelle e le galassie possono essere registrate con accuratezza, anche se conosciamo esattamente il colore che ci dobbiamo aspettare per un oggetto – come nel caso delle stelle tipo-sole – questo può apparire diverso per via dell'intervento di polveri e nebulosità attraversate dalla luce dell'oggetto.

Riassumendo brevemente, ci sono parecchie difficoltà per registrare perfettamente e accuratamente il colore degli oggetti deboli come le nebulose ad emissione, alcune forse insormontabili con la tecnologia attuale per pellicole e filtri. Ma in ogni caso è possibile registrare il colore con giusta accuratezza per gli altri tipi di oggetti astronomici di profondo cielo.⁴

Inoltre il colore delle righe spettrali "pure" può cambiare quando la luce di queste righe si mescola quella di altre righe dallo stesso oggetto o è cambiata dall'assorbimento dovuto al contenuto di polveri lungo la linea di vista tra oggetto e osservatore.

Falsi colori e colori naturali

Alcune volte si aggiunge colore alle immagini per poter vedere meglio alcune strutture, visto che lo scopo principale dell'astronomo non è necessariamente far sì che l'immagine appaia "naturale".

Per esempio l'immagine qui a lato di Saturno, è fatta con tre colori (rosso, verde, blu) ma di fatto ognuna delle tre immagini che la compongono è stata presa attraverso diversi filtri a lunghezze d'onda infrarosse, luce che non è nemmeno visibile dall'occhio umano.



In altri casi si producono immagini che rappresentano diverse sfumature di uno stesso colore. Nell'immagine della Nebulosa dell'occhio di Gatto (Cat's Eye Nebula) che si vede a sinistra, per esempio, si vedono sempre i tre colori, rosso verde e blu, ma ognuno dei tre colori rappresenta varie sfumature di un colore solo, il rosso. Infatti i tre colori fondamentali sono associati ad emissioni di righe da atomi diversi (tutte righe in diverse lunghezze d'onda del rosso) e in questa immagine il rosso corrisponde all'emissione dell'idrogeno, il verde all'azoto e il blu all'ossigeno.

⁴ Ad esempio la fotografia in tre colori sia con la pellicola Kodak Technical Pan Film, sia con i CCD, se calibrati con attenzione, può registrare i colori accuratamente. Ma anche queste tecniche possono dare problemi, tipo la risposta spettrale non uniforme della pellicola e la bassa trasmissione a λ critiche per i filtri

L'immagine di Marte a destra è stata fatta per mostrare una colorazione più naturale, quindi di nuovo si usano i colori rosso verde e blu, ma stavolta sono davvero usati per rappresentare la luce che viene da immagini prese con i filtri rosso, verde e blu, perciò è probabilmente l'immagine più vicina possibile ai colori reali.

Quindi per concludere, quando si guarda un'immagine astronomica in un libro, un giornale, in TV, su internet, bisogna sapere cosa si sta guardando, perché potrebbe essere diverso da quello che sembra! Potrebbe essere che l'immagine cerca di rappresentare i colori naturali, oppure potrebbe essere che nell'immagine si usano falsi colori o alcuni colori sono stati falsati per far risaltare certi particolari interessanti..



Questo rende il mondo dell'astronomia delle immagini abbastanza complesso, ma apre un sacco di belle opportunità da sperimentare con le nostre immagini!⁵

⁵ tutte le immagini qui mostrate sono state riprese dal telescopio spaziale Hubble.