

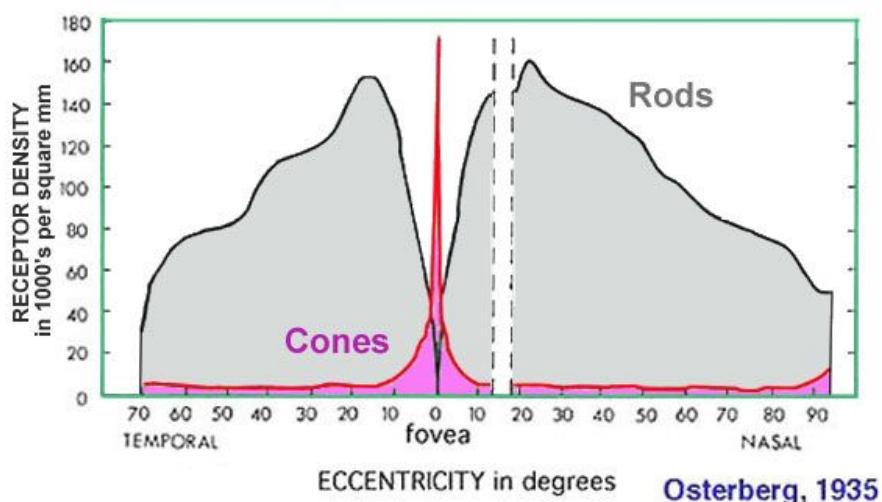
# *E' possibile ammirare il colore delle nebulose?*

di **Daniele Gasparri**

In ogni fotografia astronomica gli oggetti del cielo profondo, in particolare le nebulose, si mostrano ricchi di colori e sfumature, dal rosso cupo all'azzurro, mentre al telescopio appaiono completamente diversi, privi dei colori che sono invece alla portata di una comune fotocamera compatta. Perché tale differenza di visione? E' veramente impossibile poter osservare anche tenui sfumature di colore sugli oggetti più brillanti? Quanto conta il diametro del telescopio che si utilizza? Per una risposta completa occorre partire dall'inizio, dal comportamento dell'occhio umano

## **Il funzionamento dell'occhio umano**

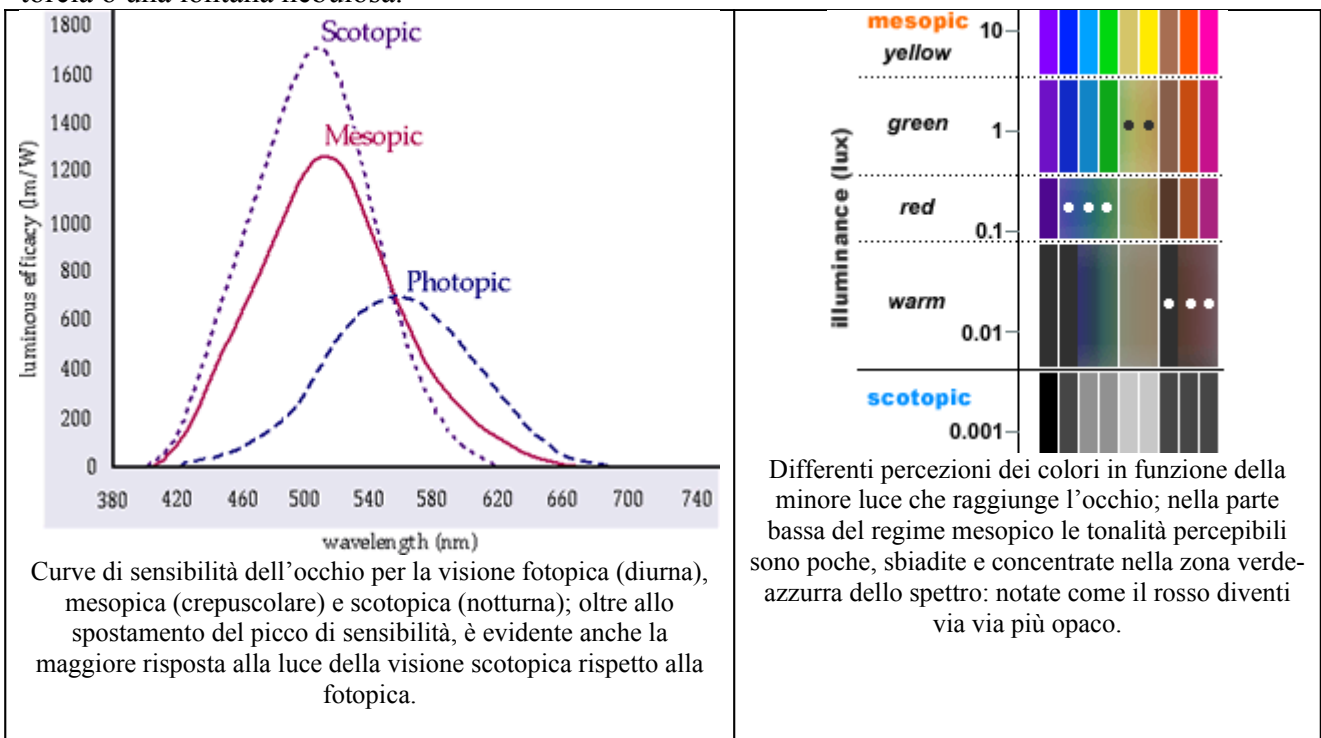
L'occhio umano è il migliore rivelatore di luce che abbiamo a disposizione: basti pensare alla sua dinamica, che copre un arco di magnitudini che vanno da quella solare (-26.85) a quella della più debole stella visibile (6.5-7); la differenza di luminosità è di ben 33 magnitudini, pari a  $10^{13}$  volte! Come funziona questo strumento meraviglioso? Perché di giorno vediamo i colori e di notte (quasi) tutte le stelle e le nebulose ci sembrano grigie? Possiamo semplificare il discorso considerando l'occhio umano composto da un sistema di elementi rifrangenti che ha il compito di raccogliere la luce e convergerla verso il piano focale che si trova sulla retina, sulla cui superficie sono presenti gli elementi sensibili alla luce (che possiamo considerare alla stregua dei pixel di un sensore CCD): coni e bastoncelli. I coni si trovano nella parte centrale della retina, chiamata fovea, con una concentrazione fino a 160 000 per millimetro quadrato. Essi sono di tre tipi, ognuno dei quali sensibile a radiazione di diversa lunghezza d'onda (Rosso, Verde e Blu): il cervello ha il compito di miscelare l'informazione proveniente dai singoli coni e formare così l'immagine finale a colori. Non hanno sensibilità elevata, con un picco a 555nm, e sono tipici della visione diurna detta anche fotopica. I bastoncelli, concentrati nella parte periferica della retina, sono ben 10000 volte più sensibili e consentono la visione a livelli bassissimi di illuminazione, detta anche scotopica. Contrariamente ai coni tuttavia, essi possono rilevare solo variazioni di luminosità e non di colore, fornendo una visione totalmente monocromatica, con un picco di sensibilità attorno ai 500 nm (e risoluzione minore).



Distribuzione sulla retina dei sensori fotorecettori. I coni, responsabili della visione a colori, sono concentrati nella zona centrale, chiamata fovea, mentre i bastoncelli, più sensibili dei coni ma incapaci di dare immagini a colori, sono concentrati nelle zone periferiche. Questo è il motivo per il quale gli oggetti deep-sky si vedono meglio (ma non a colori) in visione distolta, perché si utilizzano i più sensibili bastoncelli.

## I diversi tipi di visione

I limiti di attività dei coni e dei bastoncelli sono funzione della quantità di luce che giunge all'occhio, o meglio, della luminanza o brillantezza, cioè di quanta luce, proveniente da una superficie unitaria, colpisce una seconda superficie unitaria posta ad una certa distanza dalla sorgente (l'occhio in questi casi, ma il significato di brillantezza è del tutto generale e prescinde dal rivelatore). La visione puramente fotopica, quindi mediata dai coni, si ha fino a livelli di illuminazione di  $3.4 \text{ cd/m}^2$  (candele/metro al quadrato) cioè  $11.2 \text{ mag/arc sec}^2$ . A questi livelli, (tipicamente diurni), i bastoncelli non sono attivi. Mano a mano che la radiazione luminosa diminuisce, la visione dei colori cambia radicalmente perché cambia la risposta dei coni alla poca illuminazione. Sotto le  $11.2 \text{ mag/arc sec}^2$  si attivano anche i bastoncelli, mentre i coni sono ancora piuttosto efficienti: siamo entrati nella cosiddetta visione mesopica, tipica di ambienti con illuminazione artificiale, (case, uffici, luoghi di ritrovo) i cui limiti sono compresi tra  $11.2$  e  $16.5-17 \text{ mag/arc sec}^2$ . In prossimità del limite inferiore, a causa della minore e diversa sensibilità dei tre tipi di coni (in ordine decrescente: rosso, verde e blu), i colori appaiono via via più tenui, impastati, e si ha uno spostamento del picco di sensibilità verso la zona azzurro-verde. Poco sopra la visione puramente scotopica (cioè notturna, monocromatica) la percezione dei colori è molto diversa rispetto alle condizioni diurne: i rossi appaiono molto opachi e difficili da notare, mentre sono facili da distinguere il verde e il blu, dove cade il picco di sensibilità, nonostante il numero di tonalità percepibili sia molto minore. Al di sotto del limite mesopico la visione è totalmente monocromatica, anche se ciò può non sembrare evidente perché il nostro cervello prova ad ingannarci, suggerendo delle sfumature di colore che in realtà non possono essere percepite. Secondo quanto appena detto quindi, si può avere visione a colori per livelli di illuminazione fino a  $16.5-17 \text{ mag/arc sec}^2$ , a prescindere dal tipo di oggetto che abbiamo davanti, sia esso un foglio di carta illuminato da una torcia o una lontana nebulosa.



## Grandezze fotometriche

Il comportamento dell'occhio umano è funzione dell'intensità della luce che lo colpisce e per capire come esso funzioni e quali siano le condizioni per una visione a colori, occorre quantificare e caratterizzare il flusso luminoso che lo raggiunge, attraverso una serie di grandezze fotometriche. Il significato più letterale di fotometria è lo studio della radiazione elettromagnetica, riferendoci strettamente a quella che raggiunge il nostro occhio; un significato ben diverso rispetto alla classica fotometria astronomica.

- **Flusso luminoso:** è in generale la quantità di energia che una qualsiasi sorgente emette in un secondo. Nelle applicazioni astronomiche l'unità di misura è il Watt cioè Joule/secondo; se invece consideriamo l'occhio umano, dovremmo adattare questa definizione alla sua curva di sensibilità: appare chiaro che una sorgente che emette molta energia in infrarosso apparirà completamente nera all'occhio, e quindi il flusso rilevato sarà nullo. Definiamo quindi il lumen come l'energia emessa da una sorgente monocromatica a 555nm (picco di sensibilità dell'occhio umano in visione diurna); a questa lunghezza d'onda 1 watt corrisponde a 683 lumen. Ad altre lunghezze d'onda subentra un parametro chiamato efficienza visiva, un coefficiente che tiene conto della diversa risposta spettrale dell'occhio umano.
- **Intensità luminosa:** è flusso luminoso per ogni angolo solido. L'energia luminosa di una sorgente si propaga in generale in tutte le direzioni o meglio, in ogni angolo solido. Spesso la propagazione della luce avviene secondo una sfera via via crescente: dividendo il flusso luminoso per l'angolo solido della sfera ( $4\pi$  steradianti), abbiamo l'intensità luminosa.
- **Illuminanza:** rappresenta l'intensità luminosa divisa la distanza al quadrato ed è quindi la quantità di energia luminosa che realmente raggiunge una superficie unitaria posta ad una certa distanza dalla sorgente, a prescindere dalla sua forma.
- **Luminanza**, luminosità superficiale o brillantezza: questa è la vera grandezza fotometrica che ci interessa: essa ci dice quanta energia è emessa da un pezzetto unitario di superficie di una sorgente estesa, e raggiunge una superficie unitaria posta alla distanza  $D$  dalla sorgente. In altre parole è l'illuminanza diviso l'angolo solido occupato dalla sorgente. Questa quantità si misura in  $cd/m^2$  (candele/metro al quadrato), ma nel nostro caso è utile utilizzare le magnitudini visuali/secondo d'arco quadrato. Questi sono i valori che definiscono gli intervalli di visione dell'occhio.

## La luminosità superficiale non può aumentare

Quando parliamo di nebulose, consideriamo oggetti con una certa estensione angolare: in ogni carta celeste o software planetario, oltre alla dimensione angolare, troviamo due dati legati alla loro luminosità: la magnitudine (integrata) e la magnitudine superficiale: quest'ultimo è il dato fondamentale, che esprime la luminosità di un'unità di area angolare e ci dà direttamente informazioni preziose sul tipo di visione che potrebbe avere l'occhio umano. Dobbiamo ora capire se questo valore può essere cambiato osservando con telescopi di diametro diverso: se ciò fosse vero, allora con grandi telescopi sarebbe in linea di principio possibile osservare il colore di ogni oggetto celeste. Purtroppo le cose non stanno così, perché la brillantezza non dipende dallo strumento che si utilizza per osservare: qualsiasi telescopio mostrerà una nebulosa o una galassia sempre con la stessa luminosità superficiale (nella migliore delle ipotesi). Questo concetto è poco intuitivo e va contro l'esperienza di molti astrofili che notano un incremento di luminosità e dettaglio all'aumentare del diametro strumentale: l'incremento di dettagli e, in apparenza, di luminosità, è causato dal cosiddetto contrasto di soglia che diminuisce con l'aumentare del diametro dello strumento e che dà l'impressione, al nostro occhio, di vedere l'oggetto più brillante quando invece la sua magnitudine superficiale resta costante.

E' utile dimostrare, con l'aiuto di qualche semplice relazione, che la brillantezza di un oggetto non può aumentare con l'aumentare del diametro. Definiamo la luminosità superficiale reale come la luminosità di un qualsiasi oggetto così come appare all'occhio umano, senza alcun ausilio ottico, e

confrontiamola con la luminosità superficiale telescopica. Quest'ultima sarà uguale, in generale, al prodotto di quella reale per un coefficiente G, che chiamiamo guadagno luminoso e che ci dice quanto conta la maggiore apertura. Consideriamo un oggetto di area  $l$  secondo d'arco quadrato e quindi di lati  $1'' \times 1''$ . Osservando ad occhio nudo, con  $d$  = dimensioni pupilla occhio, e con un telescopio dal diametro  $D$ , si avrà una differenza di energia luminosa (totale) raccolta pari a  $(D/d)^2$ : si sarebbe portati a dire che la luminosità superficiale aumenti, ma, utilizzando un telescopio, ingrandirò l'immagine e quindi la luce totale dell'oggetto, che aumenta effettivamente del valore appena trovato, occuperà un'area maggiore: operando ad esempio a 10 ingrandimenti, esso ci apparirà come se fosse di lato  $10'' \times 10''$  e quindi con un'area  $10^2 = 100$  volte maggiore. Tenendo presenti questi due contributi, possiamo dire che il guadagno dovrà tenere conto sia

dell'ingrandimento che delle diverse superfici di raccolta della luce:  $G_{\text{sup}} = \left( \frac{D}{dI} \right)^2$ ;

Dalla formula si vede che per avere un guadagno arbitrariamente grande basta tenere fisso l'ingrandimento e aumentare il diametro del telescopio: in queste situazioni si ha effettivamente un guadagno di luminosità superficiale telescopica, ma c'è un limite oltre il quale non si può tenere fisso l'ingrandimento ed avere al tempo stesso un diametro dello strumento grande a piacere. Dobbiamo infatti tenere conto di un'altra grandezza, fondamentale in questi casi: la pupilla d'uscita, cioè il diametro del fascio luminoso in uscita dall'oculare del telescopio, definito come il rapporto tra il diametro e l'ingrandimento:  $P = \frac{D}{I}$ ; le dimensioni del fascio devono essere minori o uguali a

quelle della pupilla dell'occhio (che in condizioni di adattamento al buio ha un diametro compreso tra 5 e 7 mm), altrimenti non si riesce a catturare tutta la luce proveniente dal telescopio. Tenendo conto della definizione di pupilla d'uscita, e introducendo un coefficiente  $\rho$  che quantifica la percentuale di energia luminosa che effettivamente giunge all'occhio ( $\rho$  tiene conto dell'assorbimento degli elementi ottici, anche superiore al 30%), possiamo riscrivere la nostra

formula sul guadagno in luminosità superficiale come:  $G_{\text{sup}} = \rho \left( \frac{P}{d} \right)^2$  cioè come il quadrato del

rapporto tra pupilla d'uscita e pupilla umana. Poiché la pupilla d'uscita non può essere maggiore di quella dell'occhio umano, l'espressione tra parentesi può al massimo essere uguale ad 1; tenendo presenti anche le perdite, il guadagno in luminosità superficiale non è mai superiore ad uno, anzi, è sempre minore: **la luminosità superficiale telescopica dipende dalle perdite di luce e varia in funzione della pupilla d'uscita (e quindi dell'ingrandimento) e può al massimo avvicinarsi alla luminosità superficiale reale, ma mai superarla; quest'ultima è sempre costante perché dipende dalle caratteristiche del corpo emettente.** Questo è un risultato fondamentale: se potessimo vedere la nebulosa di Orione da molto vicino, ad occhio nudo, la visione non migliorerebbe perché la sua brillantezza resterebbe la stessa, mentre con un telescopio ed una pupilla d'uscita ridotta, essa ci apparirebbe addirittura meno luminosa: in queste condizioni non potremmo vedere i colori di una nebulosa neanche se ci fossimo dentro.

La luminosità superficiale telescopica aumenta con l'aumentare della pupilla d'uscita fino a raggiungere il valore massimo (quasi uguale a quello reale) quando si osserva all'ingrandimento tale che la pupilla d'uscita è uguale al diametro della pupilla dell'occhio: per comodità, chiamiamo tale ingrandimento ottimale e lo possiamo calcolare facilmente dalla relazione:  $I_{\text{ott}} = \frac{D}{P}$  dove  $P$  è il

diametro massimo della pupilla d'uscita, il cui valore è uguale al diametro massimo della pupilla dell'occhio umano (8mm per i giovanissimi, 6-7mm per gli adulti e 5 mm oltre i 45 anni d'età) e  $D$  è il diametro del telescopio utilizzato: **Per avere la massima luminosità superficiale telescopica e quindi, per avere la massima probabilità di poter osservare tenui sfumature di colore, occorre lavorare ad ingrandimenti prossimi a quello ottimale; ingrandimenti nettamente superiori renderanno più scura l'immagine e ostacoleranno la possibile percezione del colore.**

E' ora relativamente facile capire di quali nebulose possiamo, almeno teoricamente, ammirare tenui sfumature: a prescindere dallo strumento (almeno per il momento), il limite per il quale l'occhio percepisce i colori è attorno alla magnitudine superficiale 16.5-17, se non consideriamo le perdite e se lavoriamo all'ingrandimento ottimale. Questo è chiaramente un limite che può variare da un individuo ad un altro, quindi non deve essere inteso come rigoroso.

### **Il ruolo del diametro del telescopio**

Se la luminosità superficiale fosse l'unico discriminante tra una visione a colori e una senza, ci si potrebbe chiedere a cosa serva un telescopio di grande diametro poiché non mi dà immagini più brillanti di un oggetto esteso. In realtà la luminosità superficiale è condizione necessaria ma non sufficiente per una visione a colori: altri importanti fattori, che non possono essere trascurati, sono sicuramente le dimensioni dell'oggetto all'ingrandimento ottimale, il cosiddetto contrasto di soglia, le caratteristiche geometriche e chimiche (forma e distribuzione dei colori al suo interno), **le condizioni del cielo** dal quale si osserva, che **devono essere perfette**, e la saturazione dei colori. Alcune grandezze, che non approfondiamo in queste pagine, variano con il diametro strumentale: tra queste, la più importante è il contrasto di soglia, che spiega perché in un telescopio di diametro maggiore un oggetto esteso appaia più brillante e ricco di dettagli, pur non essendolo in realtà. Qual è quindi il ruolo del diametro del telescopio? In realtà marginale: ai fini della percezione del colore l'utilità di grandi telescopi è quella di far apparire l'oggetto da osservare abbastanza grande all'ingrandimento ottimale, in modo da poter attivare un numero sufficiente di fotorecettori e allo stesso tempo avere una risoluzione tale da poter separare il contributo dei diversi colori. Per gli oggetti più luminosi, si può affermare empiricamente che il diametro per il quale si verifica questa situazione è intorno ai 15-20 cm. E' bene però chiarire che **qualsiasi diametro si utilizzi, esso non potrà mai mostrare colori di nebulose con luminosità superficiale (reale) oltre il limite dell'occhio**. Aumentando il diametro può migliorare la visione dei colori perché l'immagine appare (ma non lo è) più brillante e contrastata, il cervello fa meno fatica ad interpretare il segnale e si riescono a risolvere zone di differenti tonalità (che tendono ad apparire bianche quando non sono risolte), ma non posso in alcun modo spostare il limite di percezione imposto dalla brillantezza.

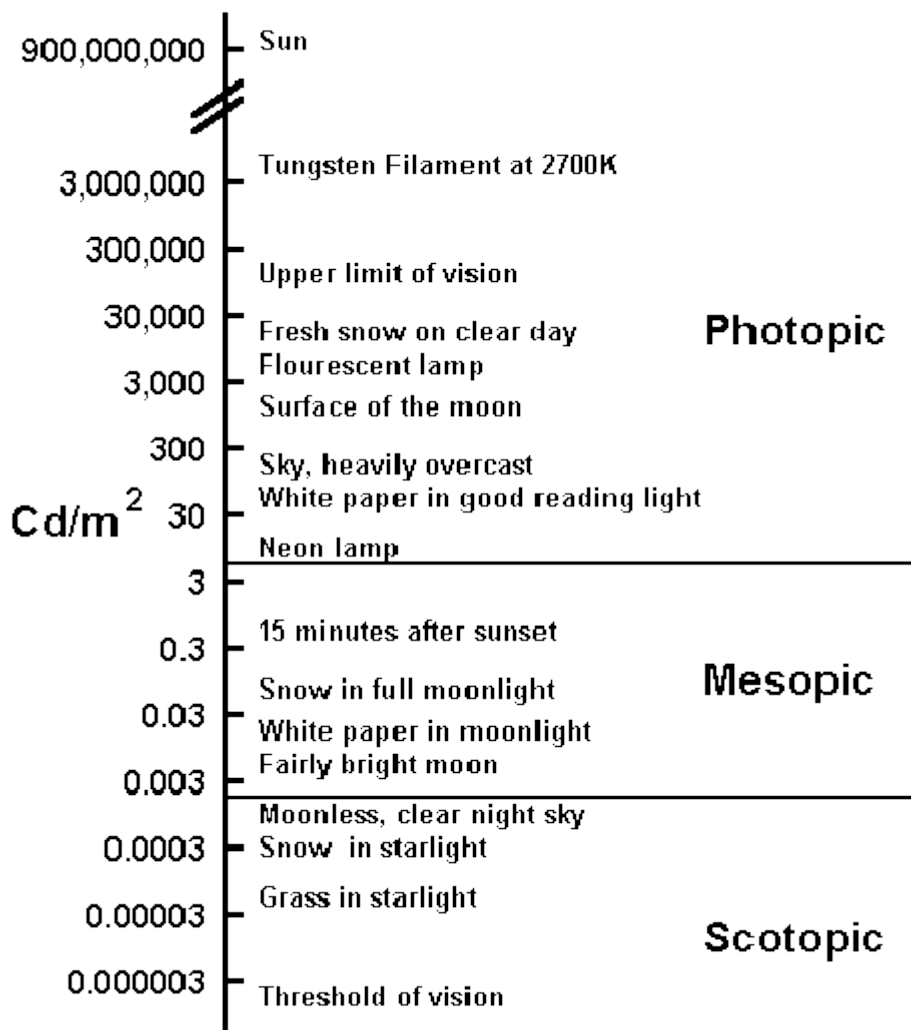
### **Gli oggetti da osservare:**

Tenendo conto dei limiti necessari (ma a volte non sufficienti) per una visione a colori, possiamo passare in rassegna tutte le nebulose più brillanti della magnitudine superficiale 17. Fortunatamente il valore che si può leggere nelle mappe e nei planetari è una media su tutta l'estensione dell'oggetto, e quindi, poiché le nebulose non sono uniformemente brillanti, ci saranno delle zone più luminose delle altre, specialmente per quanto riguarda le nebulose ad emissione.

Sfortunatamente, ottenere dei valori puntuali, o dei profili di luminosità, non è così facile ed immediato, per questo dovremmo accontentarci di leggere il valore medio e fare qualche considerazione sulla forma dell'oggetto osservato.

Planetario alla mano, andiamo a vedere quali sono gli oggetti potenzialmente raggiungibili. Sicuramente ci sono almeno alcune nebulose planetarie (NGC7662, detta anche blue snowball, la NGC6543 occhio di gatto), piccole ma con elevata brillantezza (cioè basso valore di magnitudine superficiale) e colori piuttosto saturi, quindi molto adatte. Inoltre, esse sono abbastanza uniformi e il valore della magnitudine superficiale media può essere un ottimo indicatore.

Per quanto riguarda le nebulose ad emissione, le notizie non sono molto confortanti: l'unico oggetto entro i limiti dell'occhio è la regione centrale di M42 (il trapezio); nessuna speranza per le altre, almeno in teoria. Nella pratica ci sono molti astrofili che affermano senza dubbio di poter percepire tonalità anche in oggetti teoricamente fuori dal limite, come M42, M8 (Laguna) e M17 (nebulosa Cigno).



Tipiche luminosità superficiali e limiti delle visioni dell'occhio umano. Affinché si possa, almeno in linea teorica, riuscire a percepire deboli sfumature di colore, occorre arrivare al regime mesopico, che corrisponde approssimativamente a circa 16.5-17 magnitudini/secondo d'arco quadrato.

### Come si manifestano i colori

La maggiore sensibilità dell'occhio in visione mesopica si ha nella regione azzurro-verde ed effettivamente queste sono le sfumature che si manifestano. Il colore in assoluto più difficile da vedere è il rosso, zona nella quale la sensibilità è quasi nulla. Alcune nebulose planetarie mostrano i loro piccoli dischetti di un colore azzurro-verde, mentre la regione centrale della nebulosa di Orione può mostrarsi verde, e alcuni osservatori affermano di aver percepito anche un leggero rosa perlaceo. In ogni caso si tratta di sfumature, mai di colori netti, a causa di due principali effetti:

- reale saturazione dei colori: poiché vi sono diversi contributi, tra cui, i più importanti sono il blu (emissione H-beta), il verde (OIII) e rosso (H-alpha), spesso sovrapposti allo spettro di corpo nero delle stelle di campo, il colore risultante apparirà sempre piuttosto tenue e difficile da identificare a prescindere dai livelli di luminosità;
- in visione mesopica la saturazione percepibile è raramente superiore al 10-15% a prescindere dal valore reale: un verde puro al 100% viene percepito, a questi livelli di illuminazione, come un verde tenue, con saturazione quasi mai superiore al 15% .

In ogni caso si tratta sempre di tenui sfumature, limitate a tonalità azzurro-verdi e mai di colorazioni ricche e accese come possiamo ammirare nelle fotografie.



Due immagini di una nebulosa planetaria ripresa dal telescopio spaziale Hubble mostrano come la visione dei colori non rispecchi la realtà dell'oggetto. Se infatti si tiene conto del reale flusso luminoso dell'oggetto, nello spettro visibile, il suo colore reale sarebbe quello della prima immagine. Se invece allo spettro dell'oggetto si adatta la curva di sensibilità dell'occhio umano in visione mesopica (ammettendo che la luce della nebulosa sia sufficiente per attivare i coni), si scopre quali sono i colori con cui l'occhio vede gli oggetti nel regime mesopico: le tonalità rosse sono scomparse del tutto.

## Teoria e pratica a confronto.

Dopo tante nozioni teoriche è il momento di andare sul campo e chiedere direttamente agli astrofili cosa si riesce a vedere all'oculare dei loro telescopi e se la visione dei colori si modifica con il diametro del telescopio. Ecco come ottimi visualisti, ma anche gente comune, percepisce i colori nelle nebulose, con telescopi di diverso diametro, da 20 a 67 cm.. Parallelamente ai loro racconti ed esperienze, cercherò di dare una spiegazione più teorica, parlando degli effetti di interpretazione del cervello.

### Salvatore Albano:

Osservando gli oggetti più brillanti (specialmente sulle nebulose planetarie) comincio ad apprezzare deboli sfumature cromatiche su nebulose come l'M42 (la migliore sotto questo punto di vista) M8 e M17 (quest'ultima in misura minore) con uno S/C da 35,6 cm; "M42: 77X - mostra una colorazione leggermente rosata, in special modo per quanto riguarda le regione esterne". Questa osservazione è stata effettuata a 1600 m sotto un cielo dalla mag. limite allo zenit pari a 6,2. Le suddette tonalità di colore sono state notate (in maniera indipendente) da tre osservatori, uno dei quali di media esperienza. Le soddisfazioni maggiori giungono al crescere dell'apertura; osservando la grande nebulosa M42 con il 50,8 cm, da un cielo cristallino con mag. limite allo zenit pari a 6; "72/133X - le 'ali' esterne della nebula mostrano una chiara tinta rosa, con sfumature di arancione chiaro (visibili anche nelle vicinanze del Trapezio)". Osservazione convalidata da tre osservatori di cui uno poco esperto (quest'ultimo percepiva tonalità decisamente sbiadite) il che convalida il fattore esperienza.

L'amico Franco Bertucci del circolo astrofili di Milano, che osserva con un riflettore Newton in montatura Dobson da 67 cm, ha potuto riscontrare che, un nutrito gruppetto di osservatori occasionali (che non avevano mai accostato l'occhio all'oculare d'un telescopio) "percepivano chiaramente una colorazione rossastra nelle ali esterne di questa nebulosa" dalle parole dello stesso Bertucci. È da notare che, Franco non ha messo preventivamente a conoscenza di tonalità

cromatiche, coloro che s'apprestavano all'oculare dello strumento; questo mi sembra un fatto estremamente significativo.

### **Tiziano Casanova**

Decido di prendere un gruppetto di non-astrofili di varia età, e di sottoporlo all'osservazione di NGC7662, senza svelare nulla, se non almeno la natura, dell'oggetto in questione.

Ho specificato che l'oggetto da guardare è una "bolla di un certo colore", senza aggiungere altro.

Piccola precisazione: le persone sono arrivate in modo molto diluito, pertanto è da escludere che si siano influenzate a vicenda.

Su 10-15 persone, un 80% circa mi ha detto di vedere un colore azzurro o un blu, mentre una sola persona ha parlato di viola. Qualcuno, invece, non ha visto colore. Una signora anziana, in particolare, mi ha detto immediatamente "blu"...

Queste invece sono le mie esperienze:

#### **NGC6826:**

"blinkaggio" vistoso; il telescopio usato è un CPC11.

In visione distolta appare un bel dischetto di colore azzurro, tendente al verde acqua. Mentre, in visione diretta, la stella centrale appare circondata da una lieve nebulosità di colore azzurro. Anche la stellina è colorata di azzurro.

#### **-- NGC7662:**

colore azzurro intenso in visione distolta, mentre un blu deciso (diciamo blu oltremare) in visione diretta. In visione diretta si vede la stella circondata da una chiazza blu appena percettibile, ma che si stacca un po' dal fondo nero.

Telescopio: sia CPC11, sia LX90. Ovviamente, l'effetto è minore nell'LX90.

#### **-- Eskimo:**

Nessun colore particolare. FORSE un verdino-giallo con visione distolta, in un CPC11. Nessun colore nel Meade.

### **Peter Vercauteren (Fiandre)**

In quasi tutte le nebulose grandi e luminose come Orione (M42), Laguna (M8), Dumbell (M27) e il Cigno (M17) il colore verde-blu è molto evidente in tutta la struttura.

Però, anche oggetti molto più piccoli ma con una luminosità superficiale alta mostrano le stesse sfumature verdi-blu, come il "Cat's eye" (NGC6543) e "Blue snowball" (NGC7662) sono esempi evidenti.

Invece, è facile essere illuso, ad esempio quando si utilizza un filtro UHC/OIII che fa diventare tutte le stelle nel campo verdine ed è facile pensare che le nebulose nel campo abbiano la stessa tonalità.

Devo ammettere che le nebulose più deboli come il Velo (NGC6960-6995), Eskimo (NGC2392), Anello (M57) etc non hanno mai mostrato colori nel mio telescopio.

Anche oggetti molto più piccoli ma con una luminosità superficiale elevata mostrano sfumature verdi-azzurre; la nebulosa occhio di gatto (NGC6543) e la blue snowball (NGC7662) sono esempi evidenti.

Da un certo limite di luminosità superficiale in poi, un oggetto è abbastanza luminoso per mostrare tonalità verdi-azzurre. Negli oggetti più estesi ho chiaramente osservato una debole colorazione rossastra, come ad esempio sulle ali della nebulosa di Orione. Questa è stata in effetti una sorpresa, confermata anche da un amico astrofilo: penso che le nostre esperienze siano reali perché ci aspettavamo di non vedere questa tenue sfumatura rosata, e invece c'era.



### **L'interpretazione dei dati:**

Ci sono molte testimonianze, anche di gente che non ha mai osservato, che parlano di percezione di colori; non tutte però sembrano concordare e non tutte sono teoricamente possibili. Credo che ci sia un punto dal quale possiamo partire: ci sono degli oggetti che mostrano il loro colore a tutti gli osservatori e in accordo con ciò che prevede la teoria: la visione di tonalità verdi-azzurre nelle nebulose.

Tuttavia, ci sono altri aspetti che non combaciano, in particolare alcune tonalità osservate e i livelli di illuminazione ai quali si dovrebbe percepire il colore.

Intanto è utile **distinguere tra percezione, come ciò che il sistema occhio-cervello mostra, e visione, come ciò che realmente si dovrebbe vedere**. La percezione non sempre coincide con la visione, perché un ruolo importantissimo è svolto dal cervello che interpreta i dati inviati dai fotorecettori dell'occhio.

E' molto facile essere ingannati nella visione e interpretazione dei colori dei soggetti astronomici (e in generale di oggetti scarsamente illuminati) e non sempre ciò che viene percepito, anche da un nutrito gruppo di persone, rispecchia la realtà. Qualche osservatore afferma di aver notato tonalità rosa nella Nebulosa Velo, qualcuno di aver visto una colorazione gialla nella nebulosa planetaria eskimo. La luminosità superficiale di questi oggetti è molto oltre la soglia di percezione del colore, in particolare la nebulosa Velo, la cui magnitudine superficiale non supera la 21.5-22; siamo oltre 100 volte oltre il limite della percezione mesopica. Cosa succede in questi casi? Gli osservatori, molti dei quali esperti visualisti, narrano di eccellenti condizioni atmosferiche e grossi strumenti d'osservazione, ma ciò non basta, poiché il limite imposto dalla brillantezza dell'oggetto non può essere superato a prescindere dal telescopio che si utilizzi. Si tratta quasi sicuramente di un inganno del nostro cervello.

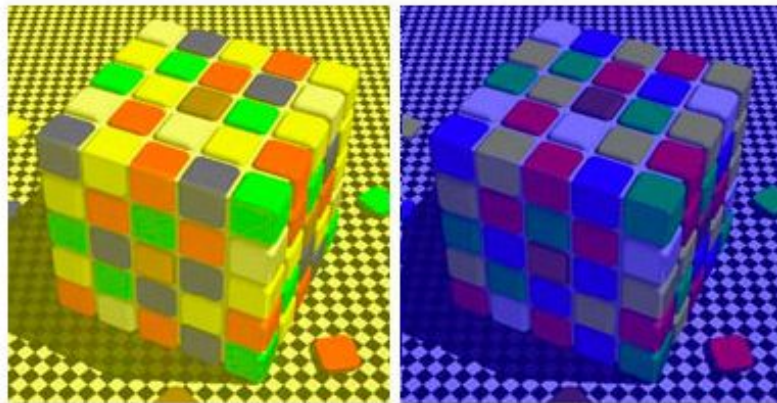
Possiamo distinguere tali inganni in due grandi famiglie:

- 1) Illusioni dovute alla memoria e ad influenze esterne
- 2) Illusioni ottiche, dovute alle condizioni di osservazione, di forma, di contrasto e luminosità dell'oggetto.

**La prima famiglia di illusioni** è relativamente facile da individuare e sconfiggere ed è propria di astrofili non ancora espertissimi: il cervello riconosce l'oggetto osservato (o lo assimila ad un oggetto simile) e gli conferisce il colore in base al ricordo che ne ha o a ciò che altri osservatori hanno dichiarato di vedere. Per sconfiggere questa illusione basta avvicinarsi con l'occhio critico all'oculare e convincere il cervello che in realtà non si vedono i colori: in questo caso la natura illusoria della percezione si manifesta e si può riuscire a vedere l'immagine in bianco e nero.

**La seconda categoria di illusioni** non è legata ne a ricordi o esperienze personali ed è molto difficile, se non impossibile, da riconoscere, anche perché si presenta tale e quale per ogni persona: il cervello interpreta variazioni di luminosità/contrasto/intensità come presenza o variazione di una tonalità che in realtà non esiste (o che comunque non si può vedere). Una buona tecnica per cercare di smascherare questa illusione può essere l'osservare pensando di non vedere i colori o portare parte dell'oggetto fuori dal campo dell'oculare e lasciare solo la porzione che sembra mostrare il colore: spesso in quest'ultimo caso, la natura illusoria del colore può mostrarsi perché manca il contesto che crea la percezione.

Tonalità rosate sono molto difficili se non impossibili da notare e l'unico oggetto che potrebbe dare una minima speranza è M42, anche se la figura mostra chiaramente l'illusione di cui si è appena parlato: a seconda del contrasto e della diversa illuminazione, la percezione dei colori cambia radicalmente e spesso si discosta dalla reale visione.

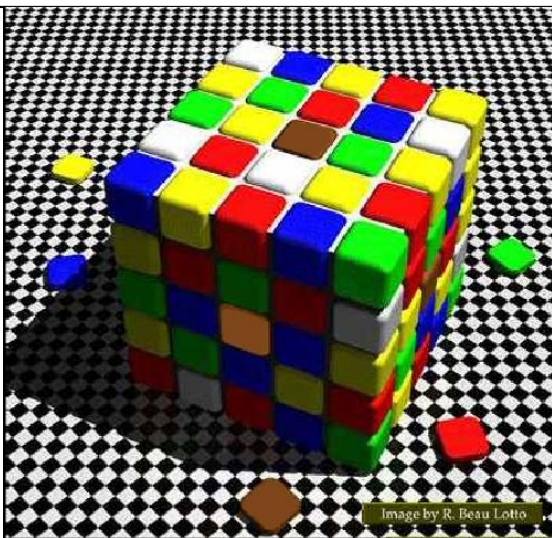


### Adjust Cube Mask Transparency

Opaque  Transparent

*Color Constancy: "...a feature of the human color perception system which ensures that the perceived color of objects remains relatively constant under varying illumination conditions" — source: Wikipedia.*

Guardate le due immagini ed osservate in particolare i quadratini blu nell'immagine a sinistra e quelli gialli nell'immagine a destra: bene, in realtà queste tonalità non esistono, ma vengono chiaramente percepite. Il nostro cervello interpreta le immagini che riceve dall'occhio e a volte si sbaglia: le tonalità blu nell'immagine a sinistra e gialle in quella a destra sono in realtà dei grigi, ma è impossibile notarli se non si isolano dal contesto



Differenti percezioni del colore in funzione dell'ambiente circostante: nonostante l'evidenza, il quadrato al centro delle due facce ha esattamente la stessa tonalità.



Ecco come appare la porzione interna della nebulosa di Orione: la regione centrale del trapezio cade in regime mesopico e quindi è percepita con una tonalità verdina, anche se molto desaturata (non oltre il 10-15%). Le zone più esterne, ma soprattutto le ali, appaiono invece color rosa perlaceo, come si può vedere dall'immagine. Questa percezione però è un'illusione: nell'immagine le ali sono grigio neutro ma il nostro cervello, per contrasto con la regione azzurro-verde interna, ce le fa percepire rosa

Ritengo quindi che il limite di brillantezza non possa essere superato e, benché la percezione sembri reale e sia confermata anche da altri osservatori, spesso non lo è. Sicuramente non si possono vedere sfumature su soggetti oltre il limite di brillantezza, mentre il discorso è un po' diverso sul tipo di sfumature che si possono percepire per oggetti entro il limite mesopico. Da una veloce analisi della curva di sensibilità dell'occhio, si nota però che la sensibilità nel rosso è molte volte inferiore al verde; ne consegue che una sfumatura rossa, per essere realmente vista, ha bisogno di essere dalle

50 alle 100 volte più intensa di quella verde. Poiché l'emissione delle nebulose è a righe, e al rosso corrisponde la riga H-alpha a 656 nm, ne consegue che tale emissione deve essere almeno 50 volte superiore alla somma delle righe OIII ed H-beta (le altre due righe principali di emissione delle nebulose), le quali devono rientrare a loro volta entro il limite mesopico; non esistono oggetti di questo tipo alla portata dell'occhio umano: **le sole sfumature reali che si possono percepire sono verdi-azzurre, causate dalla presenza delle linee di emissione dell'ossigeno due volte ionizzato (OIII) e dalla linea H-beta dell'idrogeno.**

### **Realtà o illusione: due piccoli esperimenti:**

Il primo tipo di illusioni cambia da persona a persona e coinvolge esperienze e ricordi propri di ogni individuo: è facile dimostrare la loro natura con un piccolo esperimento statistico che invito tutti a fare.

Organizzate un'osservazione di oggetti luminosi, ma che non rientrino tutti nel limite mesopico, che coinvolga un gruppo di persone, possibilmente dei neofiti o comunque gente che non conosca a priori il reale aspetto dell'oggetto, e senza che siano influenzati o si influenzino tra di loro, fatevi dire, privatamente, ciò che hanno visto all'oculare del telescopio. Raccogliendo almeno una dozzina di testimonianze si cominciano ad avere abbastanza dati per una veloce analisi statistica. Se le persone non conoscono a priori l'oggetto, il loro cervello fatica nell'interpretare univocamente un'immagine mai vista, e dall'analisi dei dati si possono avere informazioni preziose. Se il colore non è in realtà visibile, si avranno pareri negativi o comunque una distribuzione casuale di opinioni: il colore percepito varierà moltissimo da un osservatore ad un altro, senza una netta prevalenza (almeno il 70%) per uno: questo è il segno inequivocabile di elaborazione da parte del cervello: la percezione che si ha non rispecchia la realtà.

Analizzare il secondo tipo di illusioni ottiche è invece molto più difficile, perché esse sono intrinseche al sistema cervello-occhio e non variano da persona a persona.

Un esperimento interessante può essere quello dell'influenza pilotata degli osservatori: cercare di creare nel cervello un'illusione contraria a ciò che si percepisce: un tipico esempio è far osservare M42 ed avvertire l'osservatore che si vede solo una tinta azzurro/grigia. Altri esempi di questo tipo possono essere condotti anche su qualche planetaria oltre il limite mesopico come M27, M57 e la nebulosa eskimo. Se la percezione è frutto di questo tipo di illusioni, molte persone si lasceranno influenzare dal vostro parere e la nebulosa tenderà ad assumere i colori da voi suggeriti; se l'oggetto mostra sfumature reali, è difficile che la vostra influenza possa far cambiare idea all'osservatore.

Tabella con le nebulose (e una galassia) più luminose del cielo boreale. Analizzando la magnitudine visuale superficiale si capisce che solo pochi oggetti possono mostrare deboli sfumature e tutte di natura verde-azzurro (quelli con magnitudine superficiale minore di 16.5-17). Gli altri, benché facili da osservare con qualunque strumento ottico, sono fuori dal limite di percezione dei colori. Tale limite non può essere in alcun modo spostato, neanche utilizzando telescopi di cospicuo diametro.

Nome oggetto	Magnitudine integrata	Magnitudine superficiale visuale media* ( <i>mag / arc sec<sup>2</sup></i> )
M42 (Orione)	4.0	22.0 - 14.5 (trapezio)
M8 (Laguna)	5.1	21.5
M17 (Cigno)	6.0	19.8
M57 (Nebulosa ad Anello)	9.4	18.4
M27 (Dumbbell Nebula)	7.3	20.0
M1 (Nebulosa del Granchio)	8.4	20.8
M31 (Galassia di Andromeda)	3.4	22.2**
M20 (Trifida)	6.3	22.2
M97 (Nebulosa Gufo)	11.0	22.3
M76 (Little Dumbbell)	11.0	21.3
NGC 7662 (Blue snowball)	8.6	14.2
NGC2392 (Eskimo)	8.6	16.6
NGC6826 (Blinking Nebula)	8.8	15.4
NGC6960-6995 (Velo)		22
NGC6543: (Occhio di Gatto )	8.3	14.6
NGC3242 (Fantasma di Giove)	8.6	16.3
NGC7009 (Nebulosa Saturno)	8.3	15.2

\* Formula per il calcolo della magnitudine superficiale:  $Mag\ sup = Mag + 2.5 \cdot \log_{10}((A \cdot B) \cdot 2827)$  , dove A e B sono le dimensioni in minuti d'arco dell'oggetto, approssimato con un'ellisse uniformemente illuminata. Per oggetti molto diffusi, come le nebulose ad emissione o galassie, tale valore non è preciso ed occorre fornire una stima zonale.

\*\*Il nucleo di Andromeda è entro il limite mesopic, ma mostra con molta difficoltà una colorazione a causa della poca saturazione dei colori. Alcuni osservatori però parlano di tonalità giallastra.