

GLI ESERCIZI DI ASTRONOMIA

a cura di
ESA/ESO

Esercizi di astronomia per studenti delle
scuole superiori basati su osservazioni effettuate
con il telescopio spaziale Hubble NASA/ESA
ed i telescopi dell'ESO



Strumenti



Indice

Strumenti

Strumenti astronomici

- Le Magnitudini pagina 2
- Magnitudine apparente pagina 2
- Magnitude assoluta pagina 3
- Differenti colori, differenti magnitudini pagina 3
- Dall'indice di colore B-V alla temperatura pagina 4
- L'equazione della distanza pagina 5
- Piccoli esercizi pratici pagina 5
- Luminosità ed intensità pagina 7

Strumenti matematici

- Piccoli angoli e grandi distanze pagina 8
- Unità ed altri dati utili pagina 8

Guida per l'insegnante

- Guida per l'insegnante pagina 9

Strumenti astronomici

Magnitudine: un concetto sviluppato per la prima volta nel 120 a.C.

Quando noi guardiamo il cielo di notte, vediamo le stelle. Viste dalla Terra, alcune appaiono brillanti e altre molto deboli. Certe stelle che ci appaiono deboli sono intrinsecamente molto luminose, ma assai lontane. Fra le stelle più luminose del cielo alcune sono molto deboli ma molto più vicine a noi. Quando osserviamo, siamo costretti a stare sulla Terra o nelle vicinanze e perciò possiamo misurare soltanto l'intensità della luce che ci raggiunge. Sfortunatamente ciò non ci dice immediatamente tutto sulle *proprietà intrinseche* della stella. Volendo conoscere più informazioni su una stella, per esempio le sue dimensioni o la sua luminosità intrinseca, dobbiamo determinarne la *distanza* dalla Terra.

Storicamente, le stelle visibili ad occhio nudo furono divise in sei classi differenti, chiamate magnitudini. Questo sistema fu ideato originariamente dall'astronomo greco Ipparco intorno all'anno 120 a.C. ed è ancora in uso oggi in forma leggermente modificata. Ipparco scelse di classificare le stelle più luminose come aventi magnitudine 1, e le più deboli di magnitudine 6.

L'Astronomia è un po' cambiata da allora! Invece di usare solo l'occhio nudo, la luce è oggi raccolta da grandi specchi sia nei telescopi instal-

lati a terra come il VLT nel deserto di Atacama in Cile, sia con il telescopio spaziale Hubble sopra l'atmosfera terrestre. La luce raccolta è quindi analizzata da strumenti capaci di individuare oggetti miliardi di volte più deboli di quelli visibili dall'occhio umano.

Comunque, ancora oggi gli astronomi usano uno schema di magnitudini leggermente modificato rispetto a quello di Ipparco, chiamato *magnitudine apparente*. La definizione moderna di magnitudine fu scelta in modo che le magnitudini già esistenti non subissero variazioni. Gli astronomi usano due tipi diversi di magnitudini: le *magnitudini apparenti* e le *magnitudini assolute*.

Magnitudine apparente

La magnitudine apparente, m , di una stella è definita come la sua luminosità della stella osservata dalla Terra o nelle sue vicinanze. Invece di definire la magnitudine apparente dal numero di fotoni ricevuti, la si definisce prendendo la magnitudine e l'intensità di un'altra stella di riferimento. Ciò vuol dire che un astronomo misura le magnitudini delle stelle confrontandole con quelle di alcune stelle di riferimento che sono già state misurate in modo assoluto (invece che relativo).



Figura 1: Ipparco di Nicea (c.190-c.120 a.C.) a lavoro

Ipparco, un astronomo greco, inventò la prima scala per misurare la luminosità delle stelle.

Strumenti astronomici

La magnitudine apparente, m , è definita come:

$$m = m_{\text{rif}} - 2,5 \log_{10} (I/I_{\text{rif}})$$

dove m_{rif} è la magnitudine apparente della stella di riferimento, I è la misura dell'intensità della luce della stella e I_{rif} è l'intensità della luce della stella di riferimento. Il fattore di scala 2,5 rende la definizione moderna corrispondente alle vecchia.

È interessante notare che la scala che Ipparco scelse su basi intuitive, usando soltanto l'occhio nudo, è già logaritmica come conseguenza del modo con cui l'occhio percepisce la luce.

Per confronto, la magnitudine apparente della Luna piena è circa $-12,7$, la magnitudine di Venere può arrivare a -4 ed il Sole ha una magnitudine di circa $-26,5$.

Magnitudine assoluta

Abbiamo così definito la magnitudine apparente. Essa è uno strumento utile per gli astronomi, ma non ci dice nulla sulle proprietà intrinseche della stella. Occorre stabilire una proprietà che possa essere usata per confrontare stelle diverse e nelle analisi statistiche. Questa proprietà è la magnitudine assoluta.

La magnitudine assoluta, M , di una stella viene definita come la magnitudine relativa che una stella avrebbe se venisse posta a 10 parsecs dal Sole (vedi la definizione di parsec negli strumenti matematici).

Poiché soltanto poche stelle distano esattamente 10 parsecs, dobbiamo usare un'equazione che ci permetta di calcolare la magnitudine assoluta di stelle a distanze diverse: l'equazione della distanza. L'equazione funziona naturalmente anche nell'altro senso: nota la magnitudine assoluta si può calcolare la distanza.

Colori differenti, differenti magnitudini

A partire dagli ultimi anni del XIX secolo, quando gli astronomi iniziarono ad usare la fotografia per studiare il cielo e misurare la magnitudine apparente delle stelle, sorse un nuovo problema. Alcune stelle che osservate ad occhio nudo avevano la stessa luminosità, sulla pellicola apparivano di luminosità differente, o viceversa. Confrontata con l'occhio umano, l'emulsione fotografica usata era molto più sensibile alla luce blu e meno a quella rossa.

Di comune accordo, si scelse di usare due differenti scale: la *magnitudine visuale*, o m_{vis} , che descrive come la stella appare all'occhio umano e la *magnitudine fotografica*, o m_{fot} , riferita a misure effettuate con pellicole (in bianco e nero) sensibili alla luce blu. Queste sono adesso abbreviate con m_v e m_p .

Comunque, differenti modelli di emulsione fotografica differiscono per essere sensibili a differenti colori. Anche gli occhi delle persone sono differenti! I sistemi di magnitudine designati per differenti intervalli di lunghezze d'onda dovevano quindi essere calibrati con esattezza. Oggi, misure precise di magnitudine vengono effettuate con fotometri fotoelettrici standard attraverso filtri colorati calibrati.

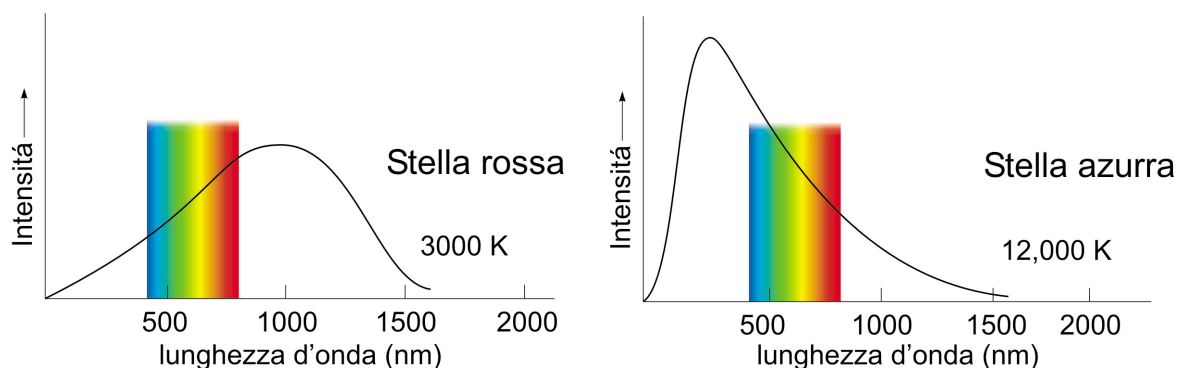


Figura 2: Temperatura e colore delle stelle

Questo diagramma schematico mostra la relazione tra il colore di una stella e la sua temperatura superficiale. Si mostra come vari l'intensità rispetto alla lunghezza d'onda di due stelle ipotetiche. Indicando la parte visibile dello spettro, si mostra come il colore della stella sia determinato da dove il picco di intensità interseca la curva nella parte visibile dello spettro.

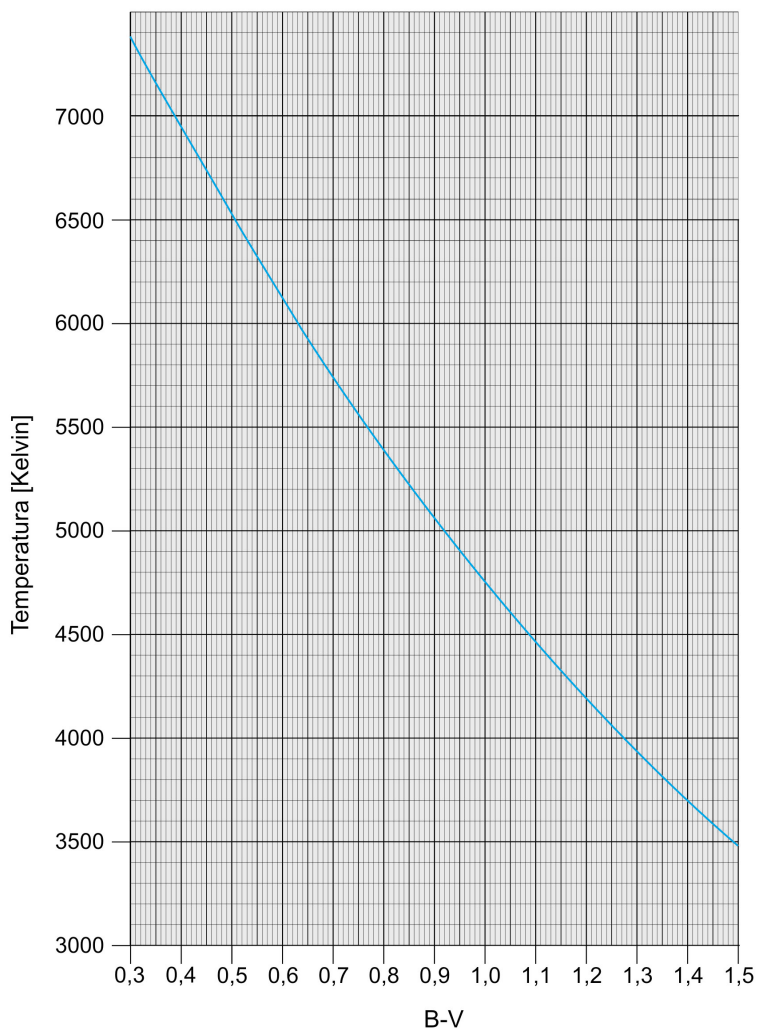


Figura 3: Temperatura superficiale in funzione dell'indice di colore B-V

Questo diagramma mostra la relazione tra la temperatura superficiale di una stella, T , ed il suo indice di colore B-V. Conoscendo la temperatura superficiale è possibile ricavare, usando questo diagramma, l'indice di colore B-V, e viceversa

Sono stati definiti diversi sistemi fotometrici: il più familiare è noto come UBV dal nome dei tre filtri più comunemente usati. Il filtro U lascia passare la luce nel vicino ultra-violetto, B principalmente la luce blu, e V corrisponde approssimativamente alla banda del visibile; il suo picco più ampio è nella banda giallo-verde, dove l'occhio è più sensibile. Le magnitudini corrispondenti in questo sistema sono chiamate m_U , m_B e m_V .

Dall'indice di colore B-V alla temperatura

Il termine *indice di colore B-V* (chiamato brevemente B-V dagli astronomi) è definito come differenza tra le due magnitudini m_B e m_V (misurate nel sistema UBV). Una stella bianca ha un indice di colore B-V di circa 0,2, il nostro Sole giallo di 0,63, la stella rosso-arancio Betelgeuse di 1,85; la stella più blu che si pensa sia possibile osservare avrà indice di colore B-V pari a circa -0,4. Per capire come vari l'indice di colore si può pensare che più una stella è blu, più negativa sarà la sua magnitudine B e quindi minore sarà la differenza $m_B - m_V$.

Strumenti astronomici

Vi è una precisa relazione tra la temperatura superficiale T di una stella ed il suo indice di colore B-V (vedi Reed, C., 1998, Journal...): si può quindi ricavare la temperatura superficiale di una stella usando il diagramma di T in funzione di $m_b - m_v$ (vedi figura 3).

$$\log_{10}(T) = (14,551 - (m_b - m_v)) / 3,684$$

L'equazione della distanza

L'equazione della distanza è:

$$m - M = 5 \log_{10} (D/10 \text{ pc}) = 5 \log_{10}(D) - 5$$

Questa equazione stabilisce la relazione tra la magnitudine apparente, m , la magnitudine assoluta, M , e la distanza, D , misurata in parsec. Un po' di algebra trasformerà questa equazione in una forma equivalente che è talvolta più conveniente (siete liberi di provarlo da soli):

$$D = 10^{(m - M + 5)/5}$$

Nel determinare le distanze tra oggetti nell'Universo prima si misura la magnitudine apparente m e poi, conoscendo quanto l'oggetto sia intrinsecamente luminoso (la sua magnitudine M) si può calcolare la sua distanza D . Gran parte del lavoro eseguito per calcolare le distanze astronomiche è consistito nel trovare la luminosità intrinseca di certi tipi di oggetti celesti. La magnitudine assoluta è stata misurata, per esempio, dal satellite dell'ESA HIPPARCOS. Questo satellite, tra i suoi molti obiettivi scientifici, ha compiuto misure accurate di distanze e magnitudini assolute di un gran numero di stelle a noi vicine.

Piccoli esercizi pratici

Questi brevi esercizi dovrebbero farvi familiarizzare con le quantità appena introdotte.

Esercizio AT1

La stella α -Orionis (Betelgeuse) ha una magnitudine apparente $m=0,45$ ed una magnitudine assoluta $M=-5,14$.

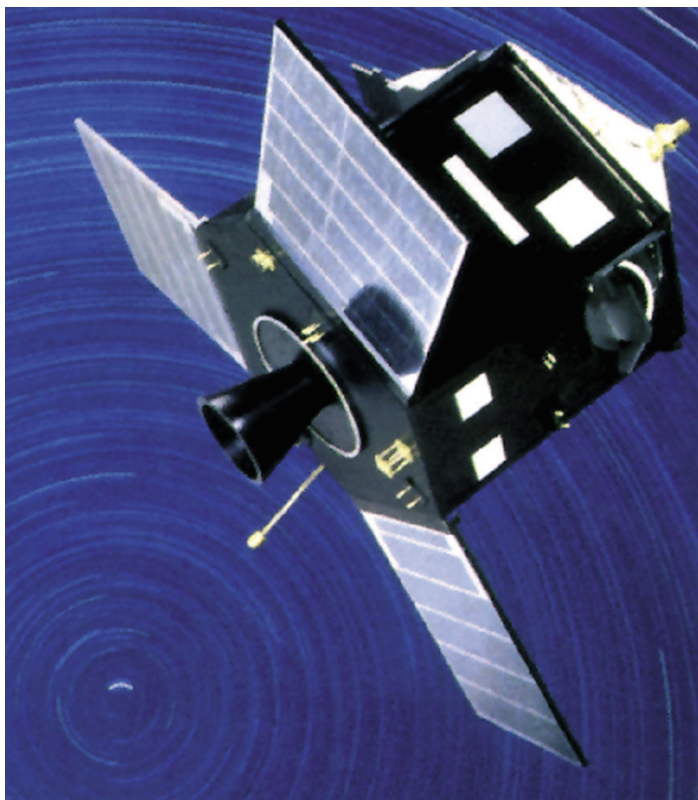


Figura 5: Il satellite dell'ESA HIPPARCOS
Il satellite HIPPARCOS è stato lanciato nella notte dell'8 agosto 1989 da un razzo Europeo Ariane4. Il principale obiettivo della missione Iparco è stato la produzione di un catalogo di stelle di precisione senza precedenti. Le posizioni e le distanze di un set di circa 120.000 stelle prescelte con magnitudine inferiore a 13 sono state determinate con elevata accuratezza. La missione Iparco è terminata nel 1993 ed il primo catalogo di stelle è stato pubblicato nel 1997.

Strumenti astronomici



Foto 1: Betelgeuse (Orion – Il Cacciatore)



Foto 2: Vega (Lyra – La Lira)



Foto 3: Il Triangolo Estivo: (clockwise)
Deneb (Cygnus – The Swan), Vega (Lyra – La Lira), Altair (Aquila – L'Aquila)



Foto 4: Sirius (Canis Major - Il Cane Maggiore)

? Trovare la distanza della stella.

Betelgeuse è la stella rossa sulla spalla sinistra di Orione ed è una supergigante rossa. Quanto viene osservata ad occhio nudo, appare con una tinta rosso-arancione.

Esercizio AT2

α -Lirae (Vega), con una magnitudine assoluta di 0,58 dista 7,76 parsecs.

? Calcolare la magnitudine apparente.

Vega è la stella più luminosa della costellazione della Lira ed è la stella in alto a destra del triangolo estivo.

Esercizio AT3

α -Cygni (Deneb) è la stella in alto a sinistra del triangolo estivo e la stella principale del Cigno. La sua magnitudine apparente è 1,255 e la distanza è di 993 parsecs.

? Calcolare la magnitudine assoluta. Cosa vi dice questo sulla natura di Deneb?

Esercizio AT4

La stella α -Canis Majoris (Sirio) è la stella più luminosa del cielo. Essa si trova ad una distanza di 2,64 parsec ed ha una magnitudine apparente di -1,44.

? Calcolare la magnitudine assoluta di Sirio.
• Se confrontata con la magnitudini assolute delle altre tre stelle qual è il vostro giudizio sulla luminosità fisica o intrinseca di Sirio?

Esercizio AT5

? Se le stelle Vega, Sirio, Betelgeuse e Deneb fossero poste a 10 parsecs dalla Terra nella stessa direzione, cosa osservereste?

Strumenti astronomici

Esercizio AT6

La magnitudine assoluta M viene definita come la magnitudine apparente che una stella avrebbe se venisse posta a 10 parsecs dal Sole.

- ?
- Ma non sarebbe corretto misurare questa distanza dalla Terra? Perché non c'è differenza se noi misuriamo questa distanza dal Sole o dalla Terra?

Luminosità ed Intensità

Fino ad ora abbiamo discusso di magnitudine stellare, ma non abbiamo mai parlato di come venga realmente emessa l'energia luminosa da una stella. L'energia totale emessa dalla stella per ogni secondo sotto forma di luce è chiamata luminosità L , è misurata in watts (W) ed è equivalente alla potenza emessa.

La luminosità e la magnitudine sono collegate. Una stella lontana con una elevata luminosità potrà avere la stessa magnitudine apparente di una stella relativamente vicina ma con minore luminosità. Conoscendo la magnitudine apparente e la distanza di una stella, si può determinarne la luminosità.

Le stelle irradiano luce in tutte le direzioni quindi l'emissione è distribuita su una sfera. Per trovare l'intensità, I , della luce proveniente da una stella verso la Terra (l'intensità è l'emissione per unità di area), dobbiamo dividere la sua luminosità per l'area di una sfera, con la stella al centro e raggio uguale alla distanza della stella dalla Terra, D . Vedi figura 5.

$$I = L / (4\pi D^2)$$

La luminosità di una stella può anche essere misurata come un multiplo della luminosità del Sole, $L_{\text{Sole}} = 3,85 \cdot 10^{26}$ W. Poiché il Sole è la "nostra" stella ed anche la più conosciuta, viene spesso utilizzata come stella di riferimento.

Usando un po' di algebra si può ricavare la luminosità di una stella, L , relativamente alla luminosità del Sole:

$$L/L_{\text{Sole}} = (D/D_{\text{Sole}})^2 \cdot I/I_{\text{Sole}}$$

Il rapporto I/I_{Sole} può essere determinato usando la formula che trovate nel paragrafo sulla Magnitudine Apparente di questa dispensa ($m_{\text{Sole}} = -26,5$).

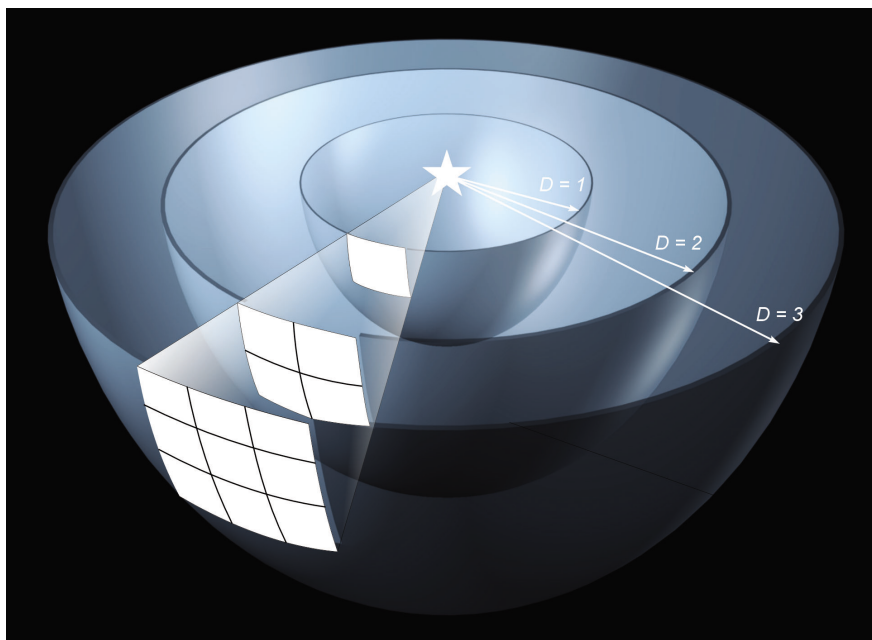


Figura 5: Intensità della luce

Questa figura mostra come la stessa quantità di radiazione proveniente da una sorgente luminosa debba illuminare un'area sempre più grande al crescere della distanza dalla sorgente. L'area aumenta come il quadrato della distanza e quindi l'intensità diminuisce nella stessa misura.

Strumenti matematici

Piccoli angoli e grandi distanze

Guarda la figura 6:
se b è piccolo in confronto a c , si può assumere che i due lati più lunghi del triangolo, c , abbiano la stessa lunghezza della linea centrale. Con semplici equazioni per i triangoli rettangoli troviamo:

$$\sin(\beta/2) = (b/2)/c$$

Lavorando con angoli molto piccoli (se espressi in radianti), allora si può usare l'approssimazione per piccoli angoli: $\sin x = x$. Questa approssimazione può sembrare azzardata, ma è

matematicamente dimostrato che funziona per piccoli angoli.

Quesito MT1

- ?
- Verifica da solo questa approssimazione calcolando $\sin(1^\circ)$, $\sin(1')$, $\sin(1'')$. Ricorda di convertire gli angoli da gradi a radianti.

Adesso hai una semplice relazione tra b , c e β senza dover usare funzioni trigonometriche:

$$\beta/2 = (b/2)/c$$

$$c = b/\beta$$

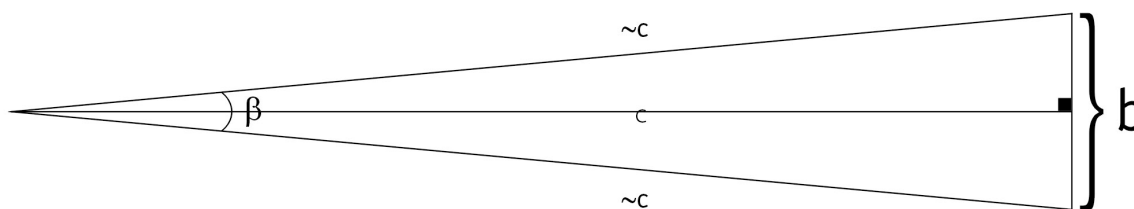


Figura 6: Piccoli angoli

Se b è piccolo in confronto a c , allora b sarà un angolo piccolo. Possiamo quindi individuare una relazione tra b , c e β che non faccia uso di funzioni trigonometriche

Unità ed altri dati utili

1 arcminuto = $1'$ = $1/60$ di un grado = $2,9089 \times 10^{-4}$ radianti
1 arcsecondo = $1''$ = $1/3600$ di un grado = $4,8481 \times 10^{-6}$ radianti
1 milliarcsecondo (mas) = $1/1000$ arcsecondo
Velocità della luce (c) = $2,997 \times 10^8$ m/s
1 parsec (pc) = $3,086 \times 10^{13}$ km = 3,26 anni-luce
1 kiloparsec (kpc) = 1000 parsecs
1 Megaparsec (Mpc) = 10^6 parsecs
1 nano metri (nm) = 10^{-9} m

Guida per l'insegnante

Questa guida per l'insegnante contiene le soluzioni ai quesiti pratici presenti nella dispensa.

Quesito AT1: $D = 131$ parsecs

Quesito AT2: $m = 0,03$

Quesito AT3: $M = -8,73$

Questa è una stella inusuale per quanto riguarda la luminosità.

Quesito AT4: $M = 1,45$

In confronto con Deneb ($M = -8,73$), Betelgeuse ($M = -5,14$), e Vega ($M = 0,58$) Sirio è una stella alquanto debole. Questo dimostra che i nostri sensi non sono sempre "ben equipaggiati" per indagare la realtà fisica che ci circonda.

Quesito AT5:

Se posizionate ad una distanza di 10 pc, Vega e Sirio dovrebbero essere più deboli, ma sarebbero ancora tra le stelle più luminose. Invece le stelle Deneb e Betelgeuse dovrebbero essere entrambe più brillanti di qualunque altra stella mai vista nel cielo notturno.

Quesito AT6:

Non vi sono ragioni per distinguere tra compiere misurazioni della distanza dalla Terra o dal Sole, in quanto la distanza tra Terra e Sole è piccolissima se confrontata con 10 parsecs. Calcolare la differenza di magnitudine apparente usando la distanza dalla Terra o dal Sole comporta, al massimo, una differenza di magnitudine apparente dell'ordine di 10^{-6} mag.

Quesito MT1:

$$\sin(1^\circ) = \sin(0,017453293 \text{ rad}) = \mathbf{0,017452406}$$

$$\sin(1') = \sin(0,000290888 \text{ rad}) = \mathbf{0,000290888}$$

$$\sin(1'') = \sin(4,84814 \times 10^{-6} \text{ rad}) = \mathbf{4,84814 \times 10^{-6}}$$

www.astroex.org

