

**Le Stelle**

Collana a cura di Corrado Lamberti

---



**L'astrofisica  
è facile!**



**Mike Inglis**

**le Stelle**

 **Springer**

Tradotto dall'edizione originale inglese:  
*Astrophysics is Easy!* di Mike Inglis  
Copyright © Springer-Verlag London Limited 2007  
All Rights Reserved

Versione in lingua italiana: © Springer-Verlag Italia 2009

Traduzione di:  
Giusi Galli

Edizione italiana a cura di:

Springer-Verlag Italia  
Via Decembrio, 28  
20137 Milano  
springer.com

Gruppo B Editore  
Via Tasso, 7  
20123 Milano  
www.lestelle-astronomia.it

Springer fa parte di  
Springer Science+Business Media

ISBN 978-88-470-1059-8 Springer-Verlag Italia  
e-ISBN 978-88-470-1060-4

Quest'opera è protetta dalla legge sul diritto d'autore, e la sua riproduzione è ammessa solo ed esclusivamente nei limiti stabiliti dalla stessa. Le fotocopie per uso personale possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto. Le riproduzioni per uso non personale e/o oltre il limite del 15% potranno avvenire solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da AIDRO, Via Corso di Porta Romana n. 108, Milano 20122, e-mail [segreteria@aidro.org](mailto:segreteria@aidro.org) e sito web [www.aidro.org](http://www.aidro.org). Tutti i diritti, in particolare quelli relativi alla traduzione, alla ristampa, all'utilizzo di illustrazioni e tabelle, alla citazione orale, alla trasmissione radiofonica o televisiva, alla registrazione su *microfilm* o in *database*, o alla riproduzione in qualsiasi altra forma (stampata o elettronica) rimangono riservati anche nel caso di utilizzo parziale. La violazione delle norme comporta le sanzioni previste dalla legge.

Foto nel logo: rotazione della volta celeste; l'autore è il romano Danilo Pivato, astrofotografo italiano di grande tecnica ed esperienza

Foto di copertina: l'ammasso stellare NGC 2467 (telescopio ESC/MPG e WFI)

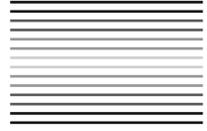
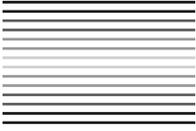
Progetto grafico della copertina: Simona Colombo, Milano

Impaginazione: Erminio Consonni, Lenno (CO)

Stampa: Grafiche Porpora S.r.l., Segrate, Milano

*Stampato in Italia*

*A mio padre e ad Alan, che sono già fra le stelle*



# Indice

Prefazione .....	ix
Ringraziamenti .....	xi
Una panoramica generale .....	xiii
<b>CAPITOLO UNO</b>	
<b>Gli strumenti del mestiere .....</b>	<b>1</b>
1.1 La distanza .....	1
1.2 Brillantezza e luminosità .....	6
1.3 Magnitudini .....	7
1.4 Il colore .....	14
1.5 Dimensioni e massa .....	18
1.6 Costituenti stellari .....	20
1.7 Spettri e spettroscopia .....	21
1.8 Classificazione stellare .....	23
1.9 Il Diagramma di Hertzsprung-Russell .....	33
1.10 Il Diagramma H-R e il raggio stellare .....	35
1.11 Il diagramma H-R e la luminosità stellare .....	37
1.12 Il diagramma H-R e la massa stellare .....	37
<b>CAPITOLO DUE</b>	
<b>Il mezzo interstellare .....</b>	<b>43</b>
2.1 Introduzione .....	43
2.2 Nebulose .....	45
2.3 Le nebulose a emissione .....	45
2.4 Nebulose oscure .....	50
2.5 Nebulose a riflessione .....	52
2.6 Nubi molecolari .....	54

2.7	Protostelle .....	54
2.8	Il Criterio di Jeans .....	55

**CAPITOLO TRE**

<b>Le stelle .....</b>	<b>59</b>	
3.1	La nascita di una stella .....	59
3.2	L'evoluzione di Pre-Sequenza Principale e l'effetto della massa .....	62
3.3	Massa che si perde e che si accumula .....	65
3.4	Ammassi e gruppi di stelle .....	67
3.5	L'avvio della formazione stellare .....	79
3.6	Il Sole, la stella piú vicina .....	81
3.7	Le stelle binarie e la massa stellare .....	86
3.8	La vita media delle stelle di Sequenza Principale .....	91
3.9	Le stelle giganti rosse .....	94
3.10	La combustione dell'elio e l' <i>helium flash</i> .....	98
3.11	Ammassi stellari, giganti rosse e diagramma H-R .....	100
3.12	Ammassi di stelle di post-Sequenza Principale: gli ammassi globulari .....	101
3.13	Stelle pulsanti .....	107
3.14	La morte delle stelle .....	114
3.15	Il ramo asintotico delle giganti .....	114
3.16	Dragare materia .....	116
3.17	Perdita di massa e venti stellari .....	117
3.18	Stelle infrarosse .....	117
3.19	La fine di una stella AGB .....	118
3.20	Le nebulose planetarie .....	120
3.21	Le nane bianche .....	125
3.22	Le stelle di grande massa e la combustione nucleare .....	130
3.23	Il ferro, le supernovae e la formazione degli elementi .....	133
3.24	L'esito dell'evoluzione delle stelle di grande massa: pulsar, stelle di neutroni e buchi neri .....	138

**CAPITOLO QUATTRO**

<b>Le galassie .....</b>	<b>149</b>	
4.1	Introduzione .....	149
4.2	Tipi di galassie .....	150
4.3	La struttura di una galassia .....	150
4.4	Le popolazioni stellari .....	150
4.5	La classificazione di Hubble delle galassie .....	151
4.6	Osservare galassie .....	153
4.7	Galassie attive e AGN .....	168
4.8	Lenti gravitazionali .....	173
4.9	<i>Redshift</i> , distanza e legge di Hubble .....	174
4.10	Ammassi di galassie .....	176
4.11	Note conclusive .....	178

**Appendice**

<b>Degenerazione .....</b>	<b>181</b>
----------------------------	------------

<b>Indice per argomento .....</b>	<b>183</b>
-----------------------------------	------------

<b>Indice per oggetto .....</b>	<b>187</b>
---------------------------------	------------



## Prefazione

Eccomi ancora una volta prendere carta e penna e iniziare un viaggio che spieghi le complessità misteriose e affascinanti delle stelle, delle galassie e della materia che si trova tra di esse. È stato un viaggio che si è sviluppato lungo molti e diversi percorsi, con ravvedimenti e sterzate improvvise, dopo lunghe ore passate a chiedermi preoccupato se per caso fossi stato troppo difficile in quel punto, o troppo superficiale in quell'altro, poiché è un dato di fatto che molti astrofili sono parecchio preparati sugli argomenti che essi seguono con tanta passione. Comunque sia, il libro ora è finito e l'avete nelle vostre mani!

Nel tempo che mi è occorso per scriverlo, ho avuto la fortuna di incontrare nella casa editrice, e di godere del suo aiuto, l'amico Harry Bloom, che, da astronomo professionista come me, sa bene che i divulgatori d'astronomia sono una strana razza che va trattata con tanta pazienza e accondiscendenza. Grazie Harry, ti devo molto. Devo anche ringraziare l'amico John Watson, anch'egli collaboratore della Springer, il primo che vide con favore l'idea di produrre un libro di questo tipo. John è anche astrofilo, cosicché sapeva esattamente quali argomenti dovevano assolutamente essere trattati nel libro e quali, invece, dovevano essere evitati.

La mia fortuna è di avere avuto come docenti d'astronomia alcuni dei maggiori esperti mondiali in vari campi: è stato un privilegio conoscerli, e ancora lo è. Non solo essi sono astronomi di eccelle capacità, teoriche od osservative, ma sono pure straordinari educatori. Sono Chris Kitchin, Alan McCall, Iain Nicolson, Robert Forrest, e il povero Lou Marsh. Sono stati i migliori docenti che io abbia mai avuto. Ho scritto il libro generalmente di notte, da solo: a tenermi compagnia c'era la musica sublime di alcuni autori che voglio ringraziare: sono Steve Roach, David Sylvian, John Martyn e i Blue Nile.

Quando non tutto andava nel verso giusto, diversi amici hanno contribuito a risollevarmi lo spirito, scherzandoci sopra davanti a un boccale di birra. Sono gli inglesi Pete, Bill, Andy e Stuart, e gli americani Sean e Matt.

L'astronomia rappresenta un lato assai importante della mia vita, ma certamente non quanto la mia famiglia. Mio fratello Bob è anche un grande amico e mi ha aiutato molto soprattutto negli anni della mia formazione in quanto astronomo. Mia madre Myra, così piena d'energia, divertente, serena ha sempre supportato il mio sogno di diventare astronomo sin da quando ero bambino. È sempre stata un punto di riferimento e un esempio positivo per tutti noi. Infine, non esagero se dico che questo libro non sarebbe mai nato senza l'aiuto di Karen, la mia compagna. "Diolch Cariad", grazie amore. Grazie per aver reso la mia vita così allegra e serena!

*Mike Inglis*  
*Long Island, USA*



# Ringraziamenti

Devo ringraziare le seguenti persone e organizzazioni per il loro aiuto, per avermi concesso di citare i loro lavori e di utilizzare i dati da essi forniti.

L'Agenzia Spaziale Europea (ESA), per il permesso di usare i cataloghi *Hipparcos* e *Tycho*.

I miei colleghi del Suffolk County Community College, USA, per il loro supporto e incoraggiamento.

Gli astronomi della Princeton University, USA, per le discussioni riguardo all'intero processo della formazione stellare.

Gli astronomi dell'Università dello Hertfordshire, UK, per le letture che mi hanno consigliato e per le utili discussioni.

Gary Walker, dell'American Association of Variable Stars Observers, per le informazioni relative ai vari tipi di stelle variabili.

Cheryl Gundy, dello Space Telescope Science Institute, USA, per avermi fornito dati astrofisici relativi a molti degli argomenti trattati.

Stuart Young, dell'Università dello Hertfordshire, UK, per le discussioni e le informazioni riguardanti la formazione stellare e il diagramma di Hertzsprung-Russell.

Chris Packham, dell'Università della Florida, USA, che mi ha aiutato a rilevare diversi errori che avevo fatto e che mi ha dato l'*input* corretto per trattare gli AGN.

Karen Milstein, per il superbo lavoro di revisione della stesura iniziale del libro, nonché delle prime bozze.

## **xii Ringraziamenti**

Lo Smithsonian Astrophysical Observatory, USA, per avermi fornito dati sulle stelle e sugli ammassi stellari.

Robert Forrest, dell'Osservatorio dell'Università dell'Hertfordshire, UK, Michael Hurrell e Donald Tinkler, della South Bayfordbury Astronomical Society, UK, che mi hanno messo a disposizione le loro note osservative.

Scrivendo un libro come questo, che entra nel dettaglio di parecchie questioni, è virtualmente impossibile evitare gli errori. Se ne troverete qualcuno, mi rammarico della svista, e vi sarò grato se me lo signalerete.

Se inoltre pensate che io abbia ommesso una stella o una galassia che avrebbero potuto descrivere meglio qualche aspetto dell'astrofisica, sentitevi liberi di contattarmi all'indirizzo: **inglism@sunysuffolk.edu**.

Non posso promettere di rispondere a tutte le *e-mail*, ma di certo le leggerò.



## Una panoramica generale

Per il vasto pubblico, l'astrofisica – ovvero la scienza che tratta di stelle, di galassie e dell'intero Universo in cui viviamo – sembra un argomento adatto a un testo di livello universitario, cosicché l'idea di una guida all'astrofisica per astrofili a prima vista potrebbe apparire quasi un non senso. In realtà, posso assicurarvi che tutti possono capire bene come nasce una stella, come trascorre la sua vita, come si pensa che evolvano le galassie e cosa la loro forma ci può dire della loro origine e della loro età, come ebbe inizio l'Universo e come potrebbe finire. In effetti, non serve una matematica complessa per capire tutto questo: basta saper moltiplicare, dividere, sommare e sottrarre!

E quel che più conta è che ci sono innumerevoli oggetti meravigliosi che possono essere osservati nel cielo notturno, capaci di illustrare concretamente all'astrofilo il più astruso concetto astrofisico. Cosa occorre allora? Solo la voglia di apprendere e un cielo scuro e sereno.

Imparare qualcosa di più approfondito relativamente ai processi della formazione stellare, a cosa capita quando una stella espansa muore, o perché alcune galassie sono spirali e altre ellittiche può aggiungere un altro livello di interesse e di curiosità a una sessione osservativa. Per esempio, molti astrofili conoscono bene la stella Rigel, nella costellazione d'Orione, ma quanti sanno che si tratta di una stella gigante, con una massa 40 volte quella del Sole e quasi mezzo milione di volte più luminosa della nostra stella? Quanti sanno che la galassia più vicina a noi, M31 in Andromeda, ospita nel suo nucleo un buco nero supermassiccio con una massa 50 milioni di volte quella del Sole? O che la Nebulosa in Orione, una delle più belle in cielo, è di fatto un'immensa culla dentro la quale stanno nascendo nuove stelle proprio mentre noi stiamo leggendo questo libro? Conoscere questi aspetti, anche quantitativamente, arricchisce senz'altro la mera attività osservativa.

Ciascuna parte di questo libro si riferisce a un aspetto astrofisico specifico. La prima parte si focalizza su concetti che sono indispensabili per avere una piena com-

preensione di tutto il resto, ed è divisa in argomenti come la luminosità, la massa, la distanza delle stelle e così via. Passeremo poi a considerare gli strumenti dell'astrofisco, in particolare la spettroscopia. Praticamente, tutto ciò che sappiamo sulle stelle e sulle galassie deriva proprio dagli studi fatti attraverso questa importantissima tecnica. Spenderemo un po' di tempo per approfondire quello che si chiama "diagramma di Hertzsprung-Russell (H-R)" se c'è uno strumento che può compendiare la vita di una stella, o di un ammasso stellare, questo è proprio il diagramma H-R, come vedremo. Esso riassume alcuni dei concetti più basilari e rivelatori di tutta l'evoluzione stellare e si può dire che una volta che si sia capito il diagramma H-R allora si è capito come una stella evolve.

Passando poi agli oggetti celesti, prenderemo le mosse dalla formazione delle stelle dalle nubi di gas e polveri e concluderemo con gli aspetti finali della vita di una stella, la quale può risolversi in un evento spettacolare che è detto supernova, che porta alla formazione di una stella di neutroni o anche di un buco nero.

A una scala maggiore, tratteremo delle galassie, delle loro forme (la morfologia), della loro distribuzione spaziale e delle loro origini.

Gli argomenti sono stati scelti in modo specifico affinché, contemporaneamente, possano essere osservati gli oggetti di cui si sta trattando; così, ad ogni tappa del nostro viaggio, una sezione osservativa riporterà la descrizione di quegli oggetti che meglio possono incarnare e dimostrare i concetti trattati. Molte di queste sorgenti, siano esse stelle, nebulose o galassie, si renderanno visibili anche dentro strumenti ottici modesti; molti altri addirittura a occhio nudo. In pochi casi eccezionali, sarà invece necessario un telescopio di media apertura. Come ovvio, non verranno presentati tutti gli oggetti presenti in cielo, ma solo alcuni casi rappresentativi (normalmente i più brillanti). Questi esempi vi consentiranno di imparare qualcosa riguardo alle stelle, alle nebulose o alle galassie a vostro piacimento: essi costituiranno una sorta di iconografia "dal vero" per questo libro.

Ad uso del lettore che ha qualche propensione per la matematica vengono fornite un po' di formule, riquadrate in aree con un fondino grigio. Ma nessuno abbia timore a leggere questi riquadri: non si devono possedere particolari abilità matematiche per riuscire a comprendere questo libro; i riquadri servono solo per sottolineare e descrivere in modo più preciso i meccanismi e i principi dell'astrofisica. Se vi piace la matematica, allora mi sento di raccomandare fortemente la lettura di queste sezioni, che favoriranno la vostra comprensione dei vari concetti e vi metteranno in grado di determinare parametri come l'età di una stella, la sua distanza, la massa e la luminosità. La matematica qui presentata sarà molto semplice, comparabile a quella che si studia nel biennio della scuola media superiore. In effetti, per semplificare al massimo le formule matematiche, utilizzeremo formule approssimate (ma assolutamente accettabili) e proporremo calcoli poco complessi, che pure produrranno risultati sorprendentemente accurati.

Il lettore noterà immediatamente che non sono presenti nel libro mappe stellari. La ragione di questo fatto è semplice: si era provato ad includere qualche mappa, ma si era poi verificato che le dimensioni sarebbero state fonte di critica: i lettori avrebbero trovato queste mappe troppo piccole, ma, d'altra parte, pubblicare mappe più grandi e dettagliate per ogni oggetto menzionato nel libro avrebbe comportato almeno il raddoppio delle sue dimensioni e probabilmente un costo di produzione triplo. Considerato che esistono molti programmi per computer che sono in grado di tratteggiare mappe celesti, si è pensato che sarebbe più semplice per il lettore produrre da sé le mappe a cui è interessato piuttosto che presentarle tutte qui.

Infine, mi piace sottolineare che questo libro si presta ad essere letto in vari modi.

Naturalmente, si può partire dall'inizio e leggerlo tutto in sequenza fino alla fine; ma se il lettore fosse particolarmente interessato diciamo alle supernovae e agli stadi finali della vita di una stella, oppure agli ammassi di galassie, non c'è ragione perché non abbia ad andare direttamente ai paragrafi che trattano tali argomenti. Potrebbe magari trovare una nomenclatura non troppo familiare, ma ho cercato di scrivere il libro abbondando nelle descrizioni, spesso ripetendole più volte, di modo che questo non dovrebbe rappresentare un problema. Inoltre, molti astrofili potrebbero andare subito alla lista degli oggetti da osservare. In definitiva, leggete il libro nel modo che vi sembra più piacevole.

Ed ora, senz'altro indugio, incominciamo il nostro viaggio di scoperta...



# Gli strumenti del mestiere

## 1.1 La distanza

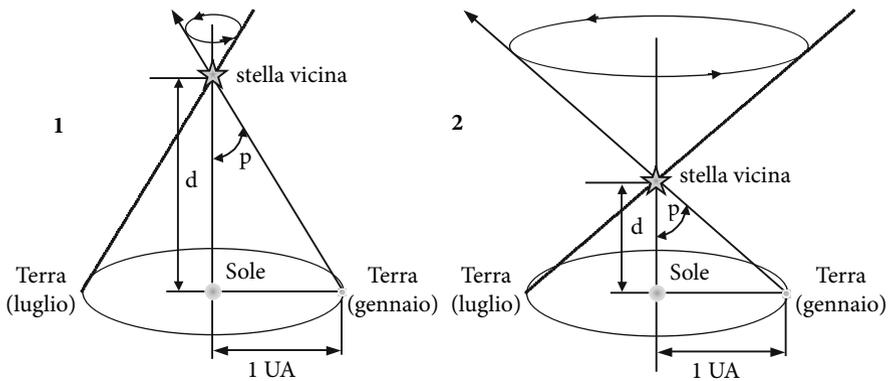
Per determinare molti dei parametri di base degli oggetti celesti è anzitutto necessario stabilire quanto tali oggetti siano vicini o lontani da noi. Vedremo più avanti quanto questo sia di vitale importanza, perché l'apparenza luminosa di una stella nel cielo notturno potrebbe significare tanto che essa è vicina a noi, quanto che essa è inerentemente una stella luminosa. Al contrario, alcune stelle possono apparirci deboli sia perché si trovano a distanze immense dal Sole, sia perché sono intrinsecamente molto deboli (o per entrambe le cose assieme). È quindi indispensabile capire quale sia la spiegazione più corretta.

La determinazione della distanza in astronomia è sempre stata fonte di difficoltà e di errori; e continua ad esserlo anche ai nostri giorni. Non c'è ancora consenso su quale sia il metodo migliore da adottare, almeno per ciò che riguarda le distanze degli oggetti agli estremi confini della nostra Galassia, la Via Lattea, e delle altre galassie. Il metodo più antico, che è usato ancora ai nostri giorni, è probabilmente anche il più preciso per quanto riguarda la misura delle distanze stellari.

Questa tecnica, concettualmente semplice, è detta *parallasse stellare*. Si tratta sostanzialmente di due misure angolari eseguite sulla medesima stella quando questa è osservata da due differenti posizioni lungo l'orbita terrestre. Generalmente, tali misure vengono fatte a distanza di sei mesi (quindi da posizioni diametralmente opposte sull'orbita della Terra): in tal modo, se la stella è relativamente vicina, sembrerà cambiare la propria posizione rispetto allo sfondo delle stelle lontane. La parallasse ( $p$ ) della stella osservata è pari alla metà dell'angolo che misura lo spostamento apparente della posizione della stella. Maggiore è la parallasse, minore sarà la distanza ( $d$ ) della stella. La figura 1.1 illustra questo concetto.

Se per una stella si misura una parallasse di 1 secondo d'arco ( $1'' = 1^\circ/3600$ ) con una base parallattica di 1 Unità Astronomica (UA), che è la distanza media della Terra dal Sole, allora, per definizione, la distanza della stella è di 1 *parsec* (pc). Dunque, il parsec è

## 2 L'astrofisica è facile!



**Figura 1.1.** La parallasse stellare.

(1) Mentre la Terra si muove attorno al Sole, una stella vicina cambia la sua posizione apparente rispetto alle stelle di fondo. La parallasse ( $p$ ) della stella è l'ampiezza angolare del raggio dell'orbita terrestre vista dalla stella.

(2) Più la stella è vicina, maggiore è l'angolo di parallasse.

la distanza di un oggetto che ha una parallasse di 1 secondo d'arco: è l'unità di distanza più frequentemente utilizzata dagli astronomi<sup>1</sup>.

La distanza di una stella, in parsec, è data dal reciproco della sua parallasse, in secondi d'arco, e normalmente si esprime come:

$$d = 1/p$$

Così, usando questa formuletta, comprendiamo che una stella che abbia una parallasse di 0,1 secondi d'arco si troverà alla distanza di 10 pc, mentre un'altra con una parallasse di 0,05 secondi d'arco sarà distante 20 pc.

### Box 1.1 Relazione tra parallasse e distanza

$$d = 1/p$$

$d$  = distanza di una stella, misurata in pc

$p$  = angolo di parallasse di una stella, misurato in secondi d'arco.

Questa semplice relazione spiega perché gli astronomi usano misurare le distanze in parsec piuttosto che in anni luce (a.l.). La stella più brillante nel cielo notturno è Sirio ( $\alpha$  Canis Majoris), che ha una parallasse di 0,379 secondi d'arco. La sua distanza dalla Terra è dunque:

$$d = 1/p = 1/0,379 = 2,63 \text{ pc}$$

Si noti che 1 pc equivale a 3,26 a.l. Questa distanza può dunque essere espressa anche così:

$$d = 2,63 \times 3,26 = 8,6 \text{ anni luce}$$

Sorprendentemente, tutte le stelle conosciute hanno angoli di parallasse minori di 1 secondo d'arco; d'altra parte, gli angoli più piccoli di 0,01 secondi d'arco sono assai difficili da misurare dalla superficie terrestre a causa degli effetti indotti dall'atmosfera; ciò limita la possibilità di misurare le distanze con il metodo parallattico a circa 100 pc (1/0",01). Dallo spazio, il satellite europeo Hipparcos, lanciato nel 1989, fu in grado di misurare gli angoli di parallasse con una precisione di 0,001 secondi d'arco, il che consentì di rilevare le distanze fino a circa 1000 pc<sup>2</sup>.

Questo metodo di misura delle distanze è utile però solo per le stelle relativamente vicine. Le stelle della Galassia sono per la gran parte troppo lontane affinché su di esse si possano compiere misure di parallasse. Dunque bisogna escogitare qualche altro metodo di misura.

Molte stelle variano la loro luminosità (sono le cosiddette stelle variabili) e alcune di esse giocano un ruolo importante nella determinazione delle distanze. Anche se discuteremo le loro proprietà dettagliatamente più avanti, è istruttivo menzionarle a questo punto.

Ci sono due tipi di variabili che sono particolarmente utili quando si voglia determinare la distanza. Sono le variabili Cefeidi e le variabili tipo RR Lyrae<sup>3</sup>. Entrambe sono classificate come variabili pulsanti, ossia stelle che vanno soggette a una variazione periodica del diametro nel corso del tempo. L'importanza di queste stelle sta nel fatto che c'è una precisa relazione tra la loro luminosità<sup>4</sup> media e i loro periodi di variabilità. Tanto più lungo è il tempo in cui una stella varia la sua brillantezza (il periodo), tanto maggiore è la luminosità intrinseca. Si tratta della famosa relazione periodo-luminosità<sup>5</sup>. Il periodo di variabilità di una stella è relativamente facile da misurare (lo possono fare anche gli astrofili) e, una volta che sia stato misurato il periodo, resta determinata la luminosità intrinseca della stella. A questo punto, comparando la luminosità, che è una misura della brillantezza intrinseca della stella, con la brillantezza che essa mostra in cielo, è possibile calcolare la sua distanza<sup>6</sup>. Usando come riferimento le Cefeidi, sono state determinate le distanze di galassie fino a circa 60 milioni di a.l.

Un approccio del tutto simile può essere utilizzato sfruttando le stelle RR Lyrae, che sono meno luminose delle Cefeidi e hanno periodi minori di un giorno. Con queste stelle si determinano le distanze fino a circa 2 milioni di a.l.

Un altro metodo per la misura della distanza è quello della parallasse spettroscopica, nel quale la conoscenza del tipo spettrale di una stella può condurre alla stima della sua luminosità intrinseca, la quale a sua volta può essere comparata con la brillantezza apparente per ricavare la distanza.

Ci sono altri metodi per la determinazione della distanza che vengono usati per oggetti più lontani, come sono le galassie. Tali metodi includono quello di Tully-Fisher e la famosa Legge di Hubble. Di tutti questi metodi discuteremo in maggior dettaglio nel seguito.

Un'ultima annotazione riguardo alla determinazione della distanza. Non si pensi che questi metodi producano misure esatte, perché un certo errore è inevitabile. L'errore usualmente si colloca tra il 10 e il 25%, né ci si deve meravigliare se talvolta giunge al 50%. Si tenga presente che un errore del 25% per una stella stimata alla distanza di 4000 a.l. significa che essa potrebbe trovarsi in realtà tra 3000 e 5000 a.l. La tabella 1.1 riporta le 20 stelle più vicine.

Discutiamo ora di alcune delle stelle più vicine dal punto di vista osservativo. La lista che riportiamo non è per nulla completa, ma include solo le stelle che sono facilmente visibili. Molte delle stelle vicine al Sole sono estremamente deboli e rappresentano una sfida osservativa notevole: per questo non le abbiamo incluse nella nostra selezione.

Nel corso del libro ho usato la seguente nomenclatura relativa alle stelle: dapprima riporto il loro nome comune (quando ce l'hanno), seguito dalla designazione scientifica. Successivamente, riporto la loro posizione in ascensione retta e declinazione. In seguito, indico i mesi in cui la stella è meglio posizionata per le osservazioni.

## 4 L'astrofisica è facile!

**Tabella 1.1.** Le 20 stelle più vicine

	Stella	Distanza, a.l.	Costellazione
1	Sole	—	—
2	Proxima Centauri	4,22	Centaurus
3	Alfa Centauri A <sup>7</sup>	4,39	Centaurus
4	Stella di Barnard	5,94	Ophiuchus
5	Wolf 359	7,8	Leo
6	Lalande 21185	8,31	Ursa Major
7	Sirio A <sup>7</sup>	8,60	Canis Major
8	UV Ceti A <sup>7</sup>	8,7	Cetus
9	Ross 154	9,69	Sagittarius
10	Ross 248	10,3	Andromeda
11	Epsilon Eridani	10,49	Eridanus
12	HD 217987	10,73	Piscis Austrinus
13	Ross 128	10,89	Virgo
14	L 789-6 A <sup>7</sup>	11,2	Aquarius
15	61 Cygni A	11,35	Cygnus
16	Prozione A <sup>7</sup>	11,42	Canis Minor
17	61 Cygni B	11,43	Cygnus
18	HD 173740	11,47	Draco
19	HD 173739	11,64	Draco
20	GX Andromedae	11,64	Andromeda

La riga successiva presenta alcuni dati e informazioni pertinenti alla stella: la magnitudine apparente, seguita dalla magnitudine assoluta e da altri dati specifici (la distanza in anni luce e la parallasse, oppure, più avanti, il tipo spettrale ecc.); concludo con la costellazione di appartenenza.

### 1.1.1 Le stelle più vicine <sup>8</sup>

<b>Proxima Centauri</b>	<b>V645 Cen</b>	<b>14h 29,7m</b>	<b>-62° 41'</b>	<b>Mar-Apr-Mag</b>
<b>11,01v m<sup>9</sup></b>	<b>15,45 M</b>	<b>4,22 a.l.</b>	<b>0",772</b>	<b>Centaurus</b>

La Proxima Centauri è la stella più vicina al Sistema Solare: per questo motivo ne parliamo, ma è un astro molto debole, visibile solo al telescopio. Si tratta di una nana rossa e anche di una stella a *flare*, ossia che va soggetta a frequenti brillamenti con un'ampiezza di circa una magnitudine. Dati recenti indicano che, contrariamente a quanto si pensava, non è fisicamente associata alla  $\alpha$  Centauri: essa si trova a transitare nei pressi di questa stella muovendosi su un'orbita iperbolica.

<b>Sirio A</b>	<b><math>\alpha</math> Canis Majoris</b>	<b>06h 29,7m</b>	<b>-16° 43'</b>	<b>Dic-Gen-Feb</b>
<b>-1,44 m</b>	<b>1,45 M</b>	<b>8,6 a.l.</b>	<b>0",379</b>	<b>Canis Major</b>

Sirio, conosciuta anche come la Stella del Cane, è magnifica da osservare. È la più brillante stella del cielo ed è la sesta in ordine di distanza dal Sole. È famosa tra gli astrofili per le esotiche variazioni di colore che esibisce per effetto della scintillazione atmosferica. Ha una stella nana come compagna, la prima nana bianca che sia stata scoperta. La sua visione è fantastica in ogni strumento ottico.

<b>Procione</b> 0,40 m	$\alpha$ Canis Minoris 2,68 M	07h 39,3m 11,41 a.l.	-56° 13' 0",283	Dic-Gen-Feb Canis Minor
---------------------------	----------------------------------	-------------------------	--------------------	----------------------------

L'ottava stella in ordine di luminosità e la quindicesima in ordine di distanza dal Sole, anche Procione, come Sirio, è accompagnata da una nana bianca, che però non si rende visibile attraverso strumenti amatoriali.

<b>Stella di Barnard</b> 9,54 m	HD 21185 <sup>10</sup> 13,24 M	17h 57,8m 5,94 a.l.	+4° 38' 0",549	Apr-Mag-Giu Ophiuchus
------------------------------------	-----------------------------------	------------------------	-------------------	--------------------------

La Stella di Barnard è la terza più vicina a noi ed è una nana rossa. Ciò che la rende famosa è il fatto di avere il più grande moto proprio<sup>11</sup> fra tutte le stelle del cielo: 10,4 secondi d'arco per anno. Con questa velocità apparente essa percorre un tratto angolare paragonabile al diametro della Luna in circa 180 anni. La sua velocità lineare è di 140 km/s. Qualcuno ipotizza che sia una stella della popolazione dell'alone galattico.

<b>61 Cygni A</b> 5,20 <sub>v</sub> m	V 1803 Cyg 7,49 M	21h 06,9m 11,35 a.l.	+38° 45' 0",287	Lug-Ago-Set Cygnus
--	----------------------	-------------------------	--------------------	-----------------------

La 61 Cygni è una bella stella doppia con una separazione di 30,3 secondi d'arco fra le sue componenti, con un angolo di posizione di 150° (si veda la sezione 3.7). Entrambe le componenti sono nane e di colore arancione. La "v" a deponente della magnitudine indica che è una stella variabile. È famosa per essere stata la prima stella per la quale si riuscì a misurare la distanza attraverso il metodo della parallasse: ci riuscì F.W. Bessel nel 1838.

<b>GX And</b> 8,09 <sub>v</sub> m	Grb 34 10,33 M	00h 18,2m 11,65 a.l.	+44° 01' 0",280	Ago-Set-Ott Andromeda
--------------------------------------	-------------------	-------------------------	--------------------	--------------------------

Questo è uno dei più famosi sistemi binari composti da nane rosse, con la stella primaria che è essa stessa una stella doppia spettroscopica. Conosciuta anche come Groombridge 34 A, la GX And si trova circa un quarto di grado a nord della 26 Andromedae.

<b>Lacaille 9352</b> 7,35 m	HD 217987 9,76 M	23h 05,5m 10,73 a.l.	-35° 52' 0",304	Ago-Set-Ott Pisces Austrinus
--------------------------------	---------------------	-------------------------	--------------------	---------------------------------

Si tratta di una nana rossa con il quarto moto proprio conosciuto in ordine di velocità: si sposta in cielo di poco meno di 7 secondi d'arco all'anno e quindi impiega circa tre secoli per coprire il diametro angolare della Luna Piena. Lacaille è nella parte estrema sud-orientale della costellazione, circa 1° a sud-sudest della  $\pi$  PsA.

<b>UV Ceti</b> 12,56 <sub>v</sub> m	L 726-8 A 15,42 M	01h 38,8m 8,56 a.l.	-17° 57' 0",381	Set-Ott-Nov Cetus
--	----------------------	------------------------	--------------------	----------------------

La UV Ceti è la settima stella in ordine di distanza dal Sole ed è una nana rossa piuttosto difficile da osservare, benché non impossibile. Anzi, è un sistema binario di due nane rosse, ed entrambe le componenti sono stelle a *flare*, la più debole delle quali viene riportata in vecchi testi come "la stella a *flare* di Luyten", dal nome dell'astronomo W.J. Luyten che la osservò per la prima volta nel 1949.

$\epsilon$ Eridani 3,72 m	HD 22049 6,18 M	03h 32,9m 10,49 a.l.	-09° 77' 0",311	Ott-Nov-Dic Eridanus
------------------------------	--------------------	-------------------------	--------------------	-------------------------

Decima stella in ordine di distanza da noi, è un oggetto visibile a occhio nudo. Osservazioni recenti indicano che potrebbe essere accompagnata da un sistema planetario con due pianeti.

## 1.2 Brillantezza e luminosità

Il numero di stelle e di galassie presenti in cielo è immenso. Per la gran parte, le stelle sono alimentate dallo stesso processo energetico che fa splendere il Sole. Questo tuttavia non significa che le stelle siano tutte uguali, poiché differiscono sotto diversi aspetti, come la massa, le dimensioni e così via. Una delle caratteristiche più importanti è la loro *luminosità* ( $L$ ), che normalmente viene misurata in watt (W), oppure in unità di luminosità solare, indicata con il simbolo  $L_{\odot}$ <sup>12</sup>. La luminosità è la quantità di energia che la stella emette ogni secondo, ossia la sua potenza. Naturalmente, noi non possiamo misurare la luminosità di una stella per via diretta: ne misuriamo la brillantezza, ma ne dobbiamo conoscere la distanza per risalire alla reale luminosità intrinseca. Per esempio,  $\alpha$  Centauri A e il Sole sono stelle caratterizzate da luminosità quasi identiche, ma mentre il Sole ci inonda di luce, la  $\alpha$  Centauri A ci appare nel cielo notturno come un semplice puntino luminoso, perché è circa 270 mila volte più lontana del Sole.

Per determinare la reale luminosità di una stella abbiamo bisogno anzitutto di conoscere la sua brillantezza apparente, che definiremo come la quantità di luce che raggiunge la Terra nell'unità di tempo e di area<sup>13</sup>. La luce che si allontana dalla stella si distribuisce su una superficie progressivamente crescente, obbedendo a quella che si chiama *legge dell'inverso del quadrato*. Se il Sole si trovasse non alla distanza che sappiamo, ma a una distanza doppia, allora dalla Terra esso ci apparirebbe più debole di un fattore  $2^2 = 4$ . Se si trovasse a una distanza 10 volte maggiore, ci apparirebbe  $10^2 = 100$  volte più debole. Se noi dovessimo osservare il Sole posto alla stessa distanza di  $\alpha$  Centauri A, ci apparirebbe più debole di un fattore  $270.000^2$ , che equivale a 70 miliardi.

La legge dell'inverso del quadrato ci dice quant'è la quantità di energia che entra nei nostri occhi oppure in un rivelatore. Immaginiamo una sfera enorme di raggio  $d$ , con centro nella stella. La quantità di luce che filtra ogni secondo attraverso un metro quadrato della superficie di tale sfera è pari alla luminosità totale emessa dalla stella ( $L$ ) divisa per la superficie della sfera, espressa in  $m^2$ . Poiché la superficie di una sfera è data dalla formula  $4\pi d^2$  è facile capire

### Box 1.2 La formula luminosità/distanza

La relazione tra distanza, brillantezza e luminosità è data da:

$$b = L/4\pi d^2$$

dove  $b$  è la brillantezza (flusso) di un stella in  $W/m^2$

$L$  è la luminosità della stella in W

$d$  è la distanza della stella in m.

#### Esempio

Applichiamo questa formula a Sirio, che ha una luminosità di  $8,5 \times 10^{27}$  W e che si trova alla distanza di 8,6 a.l. [Nota: 1 a.l. è pari a  $9,46 \times 10^{15}$  m; dunque 8,6 a.l. sono:  $8,6 \times 9,46 \times 10^{15} = 8,14 \times 10^{16}$  m]

$$b = 8,5 \times 10^{27} / [4\pi(8,14 \times 10^{16})^2] = 1 \times 10^{-7} W/m^2$$

Ciò significa che, per esempio, un rivelatore con un'area di  $1 m^2$  (potrebbe essere lo specchio di un telescopio riflettore) riceverà approssimativamente una potenza di un decimilionesimo di watt!

che, aumentando il raggio  $d$  della sfera, diminuirà il flusso. Ecco perché il flusso che arriva alla Terra da una stella è determinato anche dalla distanza della stella

Questa quantità – l'energia che giunge ai nostri occhi – è la brillantezza apparente di cui abbiamo già parlato. Essa viene misurata in watt su metro quadrato ( $W/m^2$ ).

Gli astronomi misurano la brillantezza di una stella con rivelatori sensibili alla luce, i *fotometri*. Fare *fotometria* significa misurare il flusso luminoso di un oggetto celeste.

## Box 1.3 Luminosità, distanza e flusso

Per determinare la luminosità intrinseca di una stella, dobbiamo conoscere la sua distanza e la sua brillantezza apparente. Possiamo eseguire i nostri calcoli prendendo il Sole come riferimento. In primo luogo, riscriviamo la formula del Box 1.2 in questo modo:

$$L = 4 \pi d^2 b$$

Possiamo scrivere questa stessa equazione per il Sole:

$$L_{\odot} = 4 \pi d_{\odot}^2 b_{\odot}$$

Ora dividiamo membro a membro le due formule, e otterremo:

$$L/L_{\odot} = (d/d_{\odot})^2 b/b_{\odot}$$

Quindi, ciò di cui abbiamo bisogno per determinare la luminosità di una stella è conoscere quanto essa sia più lontana dalla Terra rispetto al Sole, ciò che viene espresso dal rapporto  $d/d_{\odot}$ , e quanto essa sia brillante in relazione al Sole, ciò che è dato dal rapporto  $b/b_{\odot}$ .

### Esempio

Confrontiamo una stella rispetto a un'altra. Supponiamo che la Stella 1 si trovi a metà della distanza della Stella 2 e che risulti il doppio più brillante di essa. Confrontiamo le loro luminosità intrinseche. Poiché  $d_1/d_2 = 1/2$  e  $b_1/b_2 = 2$ , risulta:

$$L_1/L_2 = (1/2)^2 \times 2 = 0,5$$

Ciò significa che la Stella 1 ha una luminosità intrinseca che è la metà di quella della Stella 2: ci appare più brillante solo perché è più vicina a noi.

## 1.3 Magnitudini

Probabilmente la prima cosa che ciascuno di noi nota quando guarda il cielo notturno è che le stelle differiscono in luminosità. Poche sono brillanti, altre lo sono un po' meno e la grande maggioranza sono stelle deboli. Questa caratteristica, la brillantezza di una stella, viene misurata dalla sua *magnitudine*. La magnitudine è una delle più antiche classificazioni scientifiche usate ancora ai nostri giorni e fu introdotta dall'astronomo