

III.1 A proposito di stelle.....

La magnitudine.

La *magnitudine*¹, o *grandezza*, di una stella è la misura della luce emessa da un astro; anticamente si pensava che le stelle più luminose fossero le più grandi.

In Astronomia si parla di *magnitudine assoluta* e di *magnitudine apparente*. La *magnitudine assoluta*, indicata con **M** e detta anche *luminosità assoluta*, è pari alla magnitudine apparente che un oggetto luminoso avrebbe se si trovasse ad una distanza di 10 parsec² o a $3 \cdot 10^{14}$ chilometri. Quindi la magnitudine assoluta è la misura della luminosità di un astro a prescindere dalle condizioni di osservazione in cui ci si trova.

La *magnitudine apparente* di una stella, di un pianeta o di qualsiasi altro oggetto celeste, indicata con **m**, è la misura della sua luminosità apparente, cioè trascurando la distanza dell'oggetto dal punto di osservazione.

Più un oggetto appare luminosamente debole, più alta è la sua magnitudine apparente, un oggetto estremamente luminoso può apparire molto debole se si trova ad una grande distanza; infatti, a parità di luminosità, la magnitudine apparente varia secondo la legge dell'inverso del quadrato, essa è quindi inversamente proporzionale al quadrato della distanza dell'oggetto in esame.

Conosciuta la magnitudine apparente quella assoluta è data da

$$M = m + \text{Log} \frac{d_0}{d}$$

¹ Il termine deriva dal latino *magnitudo*, cioè grandezza

² 10 parsec = 32616 anni luce.

in cui $d_0 = 10$ parsec e d è la distanza dell'oggetto.

Numerose stelle hanno una magnitudine variabile nel tempo; per alcune di esse le variazioni dipendono dalla magnitudine assoluta e possono essere utilizzate per conoscere la distanza del corpo celeste: infatti, osservando tali variazioni nel periodo di luminosità dell'oggetto, si può calcolare la magnitudine assoluta e, nota quella apparente, con la formula precedente immediatamente la distanza.

Gli astronomi dell'età ellenistica avevano raggruppato le stelle visibili ad occhio nudo in sei classi di magnitudine: le stelle più luminose erano di prima magnitudine ($m = +1$), quelle brillanti la metà di queste di seconda magnitudine ($m = +2$), fino ad arrivare per le più deboli, al limite della visione umana, alla sesta magnitudine ($m = +6$). Questo metodo è stato esposto da Tolomeo³ nell'*Almagesto*⁴ e si suppone sia stato scoperto da Ipparco⁵; il sistema prendeva in considerazione solo le stelle osservabili ad occhio nudo, ma non la Luna o il Sole.

³ Claudio Tolomeo – (100 – 178 d.C. ca) - Astronomo greco di epoca imperiale che probabilmente visse e lavorò ad Alessandria d'Egitto. Considerato uno dei padri della geografia, fu autore di due importanti opere scientifiche, la principale delle quali è il trattato astronomico noto come *Almagesto*. In questo lavoro, una delle opere più influenti dell'antichità, egli raccolse la conoscenza astronomica del mondo greco e babilonese, basandosi soprattutto sul lavoro svolto tre secoli prima da Ipparco. Formulò un modello geocentrico del sistema solare, che da lui verrà detto tolemaico e che rimase riferimento per tutto il mondo occidentale fino a che non fu sostituito dal sistema solare eliocentrico di Copernico.

⁴ *Almagesto* – Opera principale di Tolomeo in cui i metodi di calcolo illustrati si dimostrarono di accuratezza sufficiente per i bisogni di astronomi, astrologi e navigatori almeno fino all'epoca delle scoperte geografiche. L'*Almagesto* contiene pure un catalogo di stelle, probabilmente un aggiornamento di un analogo catalogo compilato da Ipparco. L'elenco di quarantotto costellazioni che vi è contenuto è l'"antenato" del sistema di costellazioni moderne.

⁵ Ipparco di Nicea – (190 a.C. – 120 a.C. ca) - astronomo, geografo e matematico nell'antica Grecia. È noto anche come Ipparco di Rodi. Fu il primo greco a sviluppare accurati modelli per spiegare il moto del Sole e della Luna, servendosi delle osservazioni e della conoscenza accumulate nei secoli dai Caldei babilonesi. Il suo operato include, tra l'altro, la compilazione del primo catalogo stellare, e probabilmente l'invenzione dell'astrolabio. Nel suo primo catalogo stellare, Ipparco disegnò circa 1080 stelle, registrando per ognuna la latitudine e la longitudine sulla sfera celeste, con la precisione data dall'assenza di orologi, di telescopio o di altri strumenti moderni. Ipparco non trascurò di indicare la luminosità degli astri. Divise le stelle per luminosità e le assegnò a sei gruppi.

Nel 1856 Pogson⁶ formalizzò il sistema stellare definendo una stella di prima magnitudine se essa era 100 volte più luminosa di una di sesta, cioè la diminuzione di luminosità per ogni classe era nell'ordine della radice quinta di cento⁷, che vale circa 2,512, valore detto *rapporto di Pogson* e utilizzato ancora oggi nella scala delle magnitudini. Per adattarsi alla scala empirica di magnitudini, stabilita fin dall'antichità, fu allora introdotta la seguente relazione matematica:

$$m_2 - m_1 = -2,5 \text{Log} \frac{l_2}{l_1}$$

in cui m_1 ed m_2 sono le magnitudini delle stelle, l_1 ed l_2 le loro luminosità; la differenza $m_1 - m_2$ è detta *luminosità relativa*.

Pertanto una differenza di magnitudine pari a 3,2 sta a significare che un astro è circa 19 volte più luminoso dell'altro e questo perché

$$\left(\sqrt[5]{100}\right)^{3,2} = (2,512)^{3,2} = 19,054607..$$

Riassumendo due stelle differiscono di una magnitudine quando il rapporto tra le loro luminosità è pari a 2,512 (rapporto di Pogson), cioè una stella di prima magnitudine è 2,512 più luminosa di una stella di seconda.

⁶ Norman Robert Pogson – (Nottingham, 12 marzo 1829 – 23 giugno 1891) - Astronomo inglese; all'età di 18 anni aveva già calcolato le orbite di due comete; compilò il *Catalogo Madras* di 11015 stelle e scoprì inoltre cinque asteroidi e sei stelle variabili. Il suo contributo più consistente è stato nel notare che nel sistema di magnitudine introdotto dall'astronomo greco Ipparco le stelle di prima magnitudine erano circa cento volte meno luminose delle stelle di sesta magnitudine. Nel corso della sua carriera scoprì un totale di otto asteroidi e di 21 stelle variabili. Fu direttore dell'Osservatorio di Madras per 30 anni, fino alla morte. Portano il suo nome un asteroide, 1830 Pogson, ed il cratere Pogson sulla Luna.

⁷ $\sqrt[5]{100} = 2,512..$

Il sistema moderno non è più limitato a sei magnitudini; oggetti molto luminosi hanno magnitudini negative: ad esempio Sirio⁸, la stella più brillante della sfera celeste ha magnitudine apparente compresa tra -1,44 e -1,46; con i moderni telescopi si sono osservate stelle con $m = +30$.

Tutte le considerazioni fin qui fatte prendono in esame la luminosità che giunge a Terra. Se due stelle eguali sono poste a distanze diverse dal punto di osservazione, la più vicina apparirà più luminosa, ma per determinare la scala della luminosità reale, cioè indipendente dalla distanza, si pongono tutti gli astri idealmente ad una distanza pari a 10 parsec, e quindi si considera la loro magnitudine assoluta.

Il Sole, ad esempio, ha una magnitudine apparente eguale a -26,5 a causa della sua vicinanza, ma si trovasse a 10 parsec dalla Terra, sarebbe una stella con $m = +4,8$ valore corrispondente alla sua magnitudine assoluta.

La magnitudine assoluta M e quella apparente m di un astro alla distanza d sono legate dalla seguente relazione

$$M = m - 5 \text{Log} \frac{d}{10}$$

con d distanza espressa in parsec.

Il diagramma H – R.

⁸ Sirio - α Canis Major, conosciuta anche come la *Stella del Cane* è la stella più luminosa del cielo notturno. Questa stella può essere vista da tutte le regioni abitate della Terra e, nell'emisfero nord, è uno dei vertici del cosiddetto Triangolo Invernale. Sirio si trova ad una distanza di 8,6 anni luce, ed è perciò una delle stelle più vicine alla Terra e questo è il motivo principale della sua luminosità. È una stella di sequenza principale, con tipo spettrale A0 o A1 ed ha una massa di circa 2,4 volte quella del Sole. Ha una compagna, una nana bianca chiamata Sirio B. Fu la prima nana bianca ad essere scoperta.

Alcuni astronomi hanno pensato di esaminare le relazioni che esistono tra le grandezze caratteristiche di una stella: la temperatura, la magnitudine e la luminosità.

Nel 1905 l'astronomo danese E. Hertzsprung⁹ aveva notato che mentre le stelle di colore bianco – azzurro erano tutte di elevata luminosità, via via che si andava verso le stelle gialle e rosse la luminosità diminuiva, eccetto che per alcune, rare, il cui splendore rimaneva elevato. Egli allora chiamò *giganti* le stelle molto luminose e *nane* le altre.

Nel 1913, indipendentemente da Hertzsprung, H. N. Russel¹⁰ provò a disporre tutte le stelle, di cui erano note le caratteristiche, in uno stesso grafico (fig. 1).

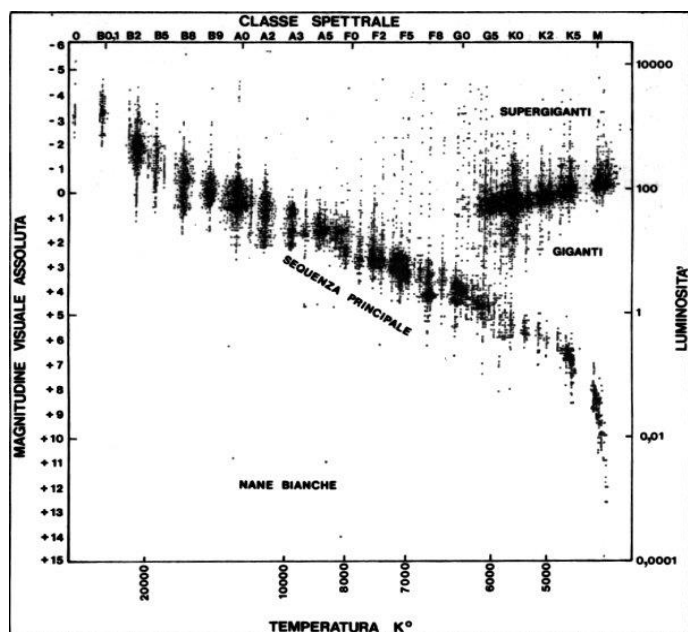


Fig. 1 Diagramma H - R

Venne così elaborato il cosiddetto *diagramma H – R*, di fondamentale importanza per lo studio dell'evoluzione stellare: in base alla posizione

⁹ Ejnar Hertzsprung – (Frederiksberg, 8 ottobre 1872 – Roskilde, 21 ottobre 1967) - Astronomo e chimico danese; espose una teoria sulla classificazione delle stelle di uno stesso tipo spettrale in diverse classi di luminosità. Nel 1911 scoprì che la Stella Polare era una Cefeide con una luminosità leggermente variabile e nel 1913 fu il primo a stimare la vera distanza di alcune Cefeidi. Fu lo scopritore di due asteroidi.

¹⁰ Henry Norris Russel – (Oyster Bay, 25 ottobre 1877 – Princeton, 18 febbraio 1957) – Astronomo americano; le sue prime ricerche riguardavano le parallassi stellari e la meccanica celeste e nel 1912 cominciò ad occuparsi dell'analisi degli spettri stellari. Nel 1914 pubblicò alcune sue osservazioni sulla relazione tra la luminosità, il colore e la classe spettrale delle stelle: da esse scaturì il famoso diagramma H - R. Di particolare interesse furono anche le sue ricerche sull'analisi delle curve di luce delle stelle variabili a eclisse; si occupò degli spettri atomici insieme a Saunders, con il quale formulò la teoria, che porta il loro nome, sul momento orbitale degli elettroni atomici.

occupata da una stella nel diagramma si possono dedurre molte delle sue proprietà, oltre che avere informazioni sulla sua “vita”.

A parità di temperatura superficiale e quindi di colore, le stelle possono avere una diversa luminosità; per classificarle allora gli astronomi, in seguito ai risultati di Hertzsprung hanno introdotto le *classi di luminosità*.

Può capitare che due stelle abbiano la stessa temperatura superficiale ma diversa luminosità, ciò vuol dire che esse devono avere una diversa superficie irradiante e un diverso volume, essendo la luminosità proporzionale alla superficie.

Ricordando che la luminosità è l’energia emessa in un secondo dall’intera superficie della stella l’energia irradiata per unità di tempo e di superficie a

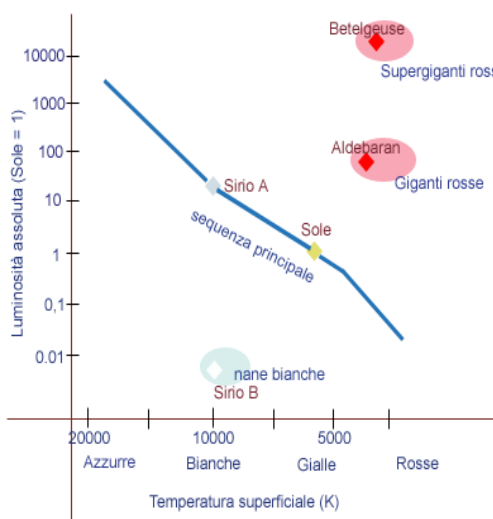


Fig. 2

parità di temperatura è la stessa, per cui una diversa luminosità dipende da una diversa estensione della superficie.

Secondo le *classi di luminosità* le stelle vengono suddivise in *supergiganti*, *giganti* e *nane*.

Esse differiscono non solo per la dimensione, ma anche per la densità: le stelle giganti e supergiganti sono molto rarefatte ed “espansive”, mentre le nane

sono più dense, piccole e compatte; le nane bianche, poi, costituiscono in un certo senso un prolungamento di tale scala.

Nel diagramma H – R (fig. 2) in ordinate si collocano la luminosità, oppure la magnitudine assoluta che ad essa è strettamente legata, e in ascisse si riportano i valori delle temperature in ordine decrescente, a partire, a sinistra, da circa 50000 gradi Kelvin; ogni stella così è rappresentata da un punto preciso.

Le stelle, come si osserva nel grafico, non si dispongono in maniera casuale, bensì la maggior parte di esse si trova lungo una fascia, detta *sequenza principale*, che attraversa il piano in diagonale, partendo dalle alte temperature e luminosità. Lo splendore delle *stelle di sequenza principale*, cioè che si trovano lungo la diagonale, decresce dall'alto verso il basso con regolarità; sono tutte stelle “nane” e la loro posizione dipende dalla massa: le più massicce si trovano a luminosità elevate e a colori blu, in alto a sinistra, mentre quelle con piccole masse si posizionano nella parte debole e rossa, in basso a destra. Il Sole è una stella “nana” e quando lascerà la sequenza principale presumibilmente diventerà una *gigante rossa* (fig. 3).

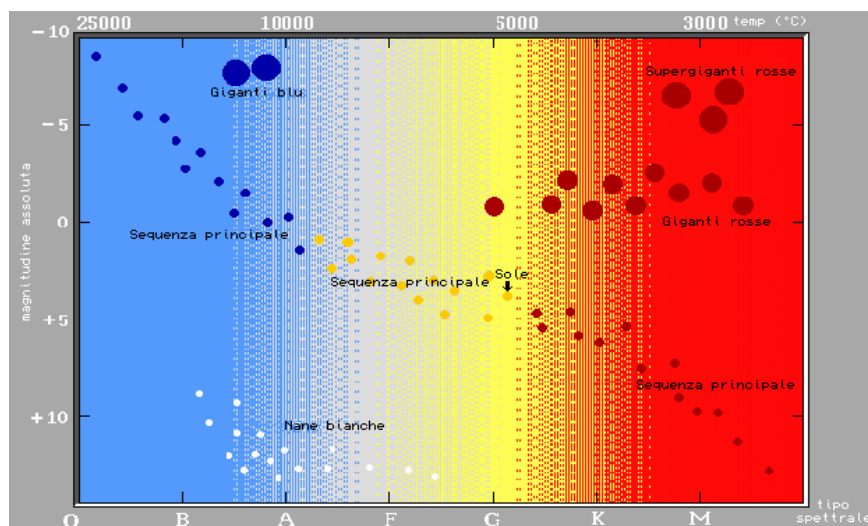


Fig. 3

Una stella nasce come “gigante”, inizialmente fredda e quindi rossa, poi, per l’effetto gravitazionale, si contrae e si riscalda posizionandosi in alto a sinistra verso temperature maggiori.

Quando si riscalda e si comprime al massimo; raggiunta una notevole compattezza, la stella non può più continuare a contrarsi, iniziano al suo interno le reazioni termonucleari e quindi il processo di raffreddamento, e rimane in sequenza principale per quasi tutta la sua esistenza con uno stato chimicamente omogeneo.

Quindi sulla fascia diagonale si trovano le stelle “nane” e le “giganti blu”, queste ultime in particolare nella regione in alto a sinistra.

Il diagramma H – R può anche interpretarsi come “storia” della vita di una stella: partendo da sinistra in alto si incontrano le stelle giovani, mentre mano mano che si scende lungo la sequenza principale ci sono quelle più vecchie che stanno per esaurire le reazioni interne; tutte le stelle, quindi, nelle quali è in atto nel nucleo la trasformazione dell’idrogeno in elio, appartengono alla sequenza principale. Quando la stella diventa chimicamente disomogenea, per gli squilibri di volume e massa stellare, essa abbandona la sequenza principale.

Guardando la figura precedente sono visibili altri ammassi stellari in alto a destra della sequenza principale, costituiti dalle “giganti rosse”, stelle che hanno basse temperature e alta luminosità; le “nane bianche”, caratterizzate da alte temperature e bassa luminosità, sono disposte in basso a sinistra; esse sono stelle molto piccole, calde e compatte, che emettono grandi quantità di energia per unità di superficie; hanno la stessa temperatura delle

corrispondenti di sequenza principale, ma per le dimensioni ridotte, la loro luminosità è bassa.

La regione sulla destra del diagramma, corrispondente a temperature inferiori a 2000 gradi, è occupata dalle stelle *di presequenza*, quelle cioè che non hanno ancora raggiunto temperature del nucleo tali da provocare le fusioni dell'idrogeno in elio; si distribuiscono lungo una linea verticale sulla destra, e, quando il loro nucleo si sarà riscaldato per dare luogo alla fusione nucleare, esse si sposteranno ciascuna verso il punto della sequenza principale corrispondente alla propria massa.

La spettroscopia

Quando un fascio di luce proveniente da una sorgente luminosa viene intercettata da un dispositivo, sia esso un prisma o un reticolo, esso si scompone in una serie di righe luminose o scure di intensità variabile, il cui insieme è detto *spettro*.

Ad ogni riga corrisponde una determinata lunghezza d'onda, quindi l'analisi della posizione di queste righe e l'aspetto con cui esse si presentano forniscono indicazioni sulla composizione chimica della sorgente e di ciò che la circonda, sulle sue caratteristiche fisiche, quali temperatura e densità, mettendo in evidenza i complessi meccanismi dell'interazione fra i costituenti la materia e la radiazione.

La *spettroscopia*¹¹ è lo studio delle proprietà dei corpi attraverso l'analisi della luce, cioè delle radiazioni elettromagnetiche, che essi emettono o assorbono.

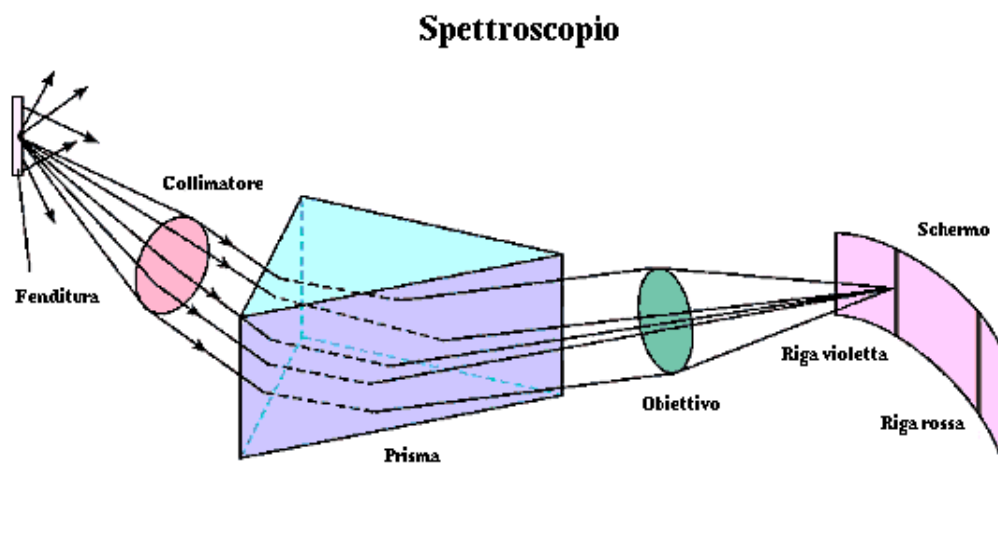
¹¹ Il termine deriva dal latino *spectrum* – *immagine* e dal greco *σκοπεω* - *vedere*

Il metodo di indagine spettroscopica trova applicazione in Astronomia, dove la luce diventa messaggera dell'informazione; infatti la posizione delle righe e la loro aggregazione, la loro identificazione forniscono le chiavi per comprendere la composizione della sorgente e i fenomeni fisici e dinamici che in essa avvengono.

Essa ha origine nel XIX secolo, quando fu costruito il primo spettroscopio¹², strumento che permette di produrre e osservare gli spettri delle radiazioni luminose separando le varie componenti di un fascio di luce.

Esso è costituito essenzialmente da

- un collimatore
- un elemento dispersivo
- un cannocchiale



La luce proveniente da una sorgente luminosa attraversa una fenditura posta nel fuoco del collimatore. Le lenti di esso, poste in modo opportuno,

¹² Il primo tipo era costruito da un semplice prisma ottico e venne usato nel 1672 da J. Newton per l'osservazione dello spettro della luce solare.

rendono paralleli i raggi uscenti dalla fenditura e li inviano all'elemento dispersivo, il prisma, che devia i singoli raggi in funzione della loro lunghezza d'onda, e quindi dei loro colori, separandoli. Il cannocchiale, costituito da un obiettivo e da un oculare, mette a fuoco i diversi colori su uno schermo, permettendone l'osservazione visuale.

Se allo strumento è abbinato un dispositivo in grado di misurare l'intensità delle varie componenti del fascio di luce, esso si dice spettrometro.

Osservando ed analizzando la luce emessa dal Sole e da talune stelle, gli astronomi furono in grado di definirne la composizione chimica. Pertanto pensarono di suddividere i corpi celesti in classi, dette *tipi spettrali*, in base a caratteristiche, quali il colore o la presenza di determinate righe spettrali; in particolare si giunse alla conclusione che il tipo e l'aspetto delle righe spettrali varia al variare del colore della stella.

I tipi spettrali sono riportati nella seguente tabella

Classe	Temperatura superficiale	Righe dominanti	Osservazioni
O	$T > 30000$ gradi	Righe dell'elio ionizzato	Stelle relativamente rare
B	$15000 < T < 25000$		Stelle più comuni di quelle di classe O ma comunque rare
A	$8000 < T < 25000$	righe dell'idrogeno	Stelle molto numerose – vi appartengono Sirio e Vega
F	$6000 < T < 8000$	righe del calcio ionizzato	La Stella polare è di questo tipo
G	$4000 < T < 6000$	Righe dei metalli e del calcio ionizzato	Il Sole è di questo tipo
K	$3500 < T < 5000$	Righe dei metalli e del calcio neutro	
M	$2000 < T < 3000$	Righe dell'ossido di titanio	Antares e Betelgeuse sono di questo tipo
S	$2000 < T < 3000$	Righe dell'ossido di zirconio	Stelle molto rare
R e N	$2000 < T < 3000$	Righe del carbonio	Stelle piuttosto rare dette <i>stelle al carbonio</i>

Ognuna delle classi spettrali è poi a sua volta suddivisa in classi contraddistinte dalle cifre 0, 1, ..., 9; i tipi spettrali spesso si trovano nel *diagramma H – R* come riferimento in ascisse al posto delle temperature.

La fotometria

La *fotometria* è una tecnica astronomica che si occupa di misurare l'intensità della radiazione elettromagnetica emessa da una sorgente luminosa.

Essa consente, nel caso dei corpi celesti, di ricavare informazioni sulle caratteristiche della superficie delle stelle, come la presenza di macchie luminose, sulla loro forma, sulle eventuali pulsazioni che le fanno espandere e contrarre periodicamente, sulla composizione delle atmosfere stellari.

Le osservazioni fotometriche inoltre permettono agli astronomi di studiare



Fotometro

la massa stellare e quindi di ricostruire le fasi della “vita” di una stella.

Lo strumento usato è il fotometro; esso trasforma la radiazione luminosa in corrente elettrica; in passato il fotometro fotoelettrico era l'unico strumento usato e serviva per misurare le intensità luminose indirizzandole verso cellule fotoelettriche; oggi si convoglia la luce in un telescopio

ottico e, dopo averla fatta passare attraverso filtri ottici, essa viene catturata su camere CCD.

Un **CCD** (acronimo di **Charge Coupled Device**) consiste in un circuito integrato formato da una riga, o da una griglia, di elementi semiconduttori (photosite) in grado di accumulare una carica elettrica (*charge*) proporzionale all'intensità dei raggi luminosi che li colpiscono. Questi elementi sono accoppiati (*coupled*) in modo che ognuno di essi, sollecitato da un impulso elettrico, possa trasferire la propria carica ad un altro elemento adiacente.

Inviando al dispositivo (*device*) una sequenza temporizzata d'impulsi, si ottiene in uscita un segnale elettrico grazie al quale è possibile ricostruire la matrice dei pixel che compongono l'immagine proiettata sulla superficie del CCD stesso.

Questa informazione può essere utilizzata direttamente nella sua forma analogica, per riprodurre l'immagine su di un monitor o per registrarla su supporti magnetici, oppure può essere convertita in formato digitale per l'immagazzinamento in *file* che ne garantiscano il riutilizzo futuro.

Sin dalla sua nascita il CCD ha avuto largo uso in campo astronomico, dimostrando subito le enormi potenzialità rispetto la fotografia tradizionale. Gli osservatori astronomici si sono dotati di questo strumento anche per velocizzare e rendere più precise le osservazioni astronomiche.

Comunque sia il fotometro è ancora utilizzato in particolari situazioni, come i casi in cui è richiesta un'alta risoluzione temporale.