

III

Le stelle vicine

LA STELLA PIÙ VICINA

Lasciando il sistema solare cominceremo col trasferirci sulla stella più vicina: l'Alfa del Centauro. Viaggiando alla velocità media dei veicoli che attualmente vanno o tornano dalla Luna, impiegheremmo 500 000 anni. Viaggiando alla velocità della luce, che raggiunge la Luna in poco più di un secondo, ce ne occorrerebbero 4,3. Affidandoci semplicemente alla fantasia possiamo essere in quella parte dello spazio in pochi istanti; il tempo di chiudere le finestre per non sentire i rumori della strada e di spegnere la luce centrale della nostra stanza: meno saranno le cose che ci ricorderanno la Terra, più la suggestione sarà forte e la visione riuscirà a farsi concreta. Non potendoci posare sul manto infuocato della stella, scenderemo su un suo pianeta, che supporremo simile alla Terra e similmente disposto rispetto al suo sole. È appena l'inizio del nostro viaggio nello spazio e cerchiamo di non trovarci subito completamente... fuori casa.

Se saremo arrivati di notte noteremo un cielo abbastanza familiare che contribuirà a farci sentire a nostro agio. Naturalmente non vedremo la Luna né i pianeti del nostro sistema solare. Forse vedremo, invece, qualche altro pianeta, che gira intorno ad Alfa del Centauro insieme a quello sul quale ci siamo posati. Poche stelle ci appariranno leggermente più deboli o più brillanti di come le vedevamo dalla Terra e leggermente spostate sulla volta celeste, ma nel complesso riconosceremo tutte le costellazioni che eravamo abituati a vedere dalla finestra della nostra casa e la fascia della Via Lattea continuerà ad attraversare il cielo in mezzo alle stesse stelle che l'adornavano nel cielo terrestre. Ci siamo spostati per una distanza cento milioni di volte superiore a quella che ci separa dalla Luna, con un viaggio che, alla velocità di quelli spaziali attuali, sarebbe durato

mezzo milione di anni, eppure, nel mondo delle stelle, il nostro è stato ancora un passo impercettibile e l'aspetto del cielo stellato è rimasto tale e quale. Guardando però in direzione della costellazione di Cassiopea, proprio in quella parte in cui questa confina con la vicina costellazione di Perseo, vedremo una stella giallastra, più o meno dello splendore di Rigel e Prozione, che non avevamo mai notato nel nostro cielo stellato. È il Sole. Da quella distanza fa ancora una bella figura e, mentre adorna come una delle stelle più brillanti le notti del pianeta sul quale siamo scesi, ci indica quella parte dell'universo dalla quale siamo partiti e in cui si trova il pianeta Terra con tutto il suo carico di vita.

Ma il tempo passa e, mentre stiamo contemplando il cielo, la notte è diventata meno cupa e verso una certa parte dell'orizzonte ha cominciato a manifestarsi un chiarore che si rafforza sempre di più. È l'alba. Un'alba del tutto simile alle nostre, che illumina sempre meglio il paesaggio, colora il cielo e, infine, dopo essersi trasformata nell'aurora, culmina in quel trionfo di luce che è il sorgere del sole. Rimaniamo attoniti; il corpo celeste che è sorto sembra proprio il Sole, il nostro Sole. Quell'astro che fino a poco prima avevamo visto ridotto a una stella, è dunque tornato? La luce che illumina il paesaggio ha lo stesso colore, la stessa intensità di quella che forma il giorno terrestre e il corpo luminoso che va lentamente innalzandosi nel cielo ha lo stesso aspetto e persino lo stesso diametro del Sole. Ma non è il Sole. È Alfa del Centauro, la stella più vicina alla Terra, quasi identica al Sole, per aspetto, peso e dimensioni. Naturalmente la somiglianza è completa anche perché il pianeta sul quale abbiamo supposto di trovarci si muove su un'orbita simile, anche in dimensioni, a quella percorsa dalla Terra intorno al Sole. L'ambiente ci è divenuto meno familiare di quando era notte, perché ora vediamo anche il paesaggio, che è diverso da quello terrestre, ma la luce che ci illumina, il calore che ci riscalda, sono gli stessi ai quali eravamo abituati sulla Terra e ci viene spontaneo di pensare che, dopo tutto, l'universo non è così straordinariamente variato come ce lo aveva descritto la fantascienza.

Giudizio affrettato. Il sole che ci è tanto familiare non è ancora giunto alla metà del suo corso diurno, quando qualcosa di inatteso ci colpisce. Là, sull'orizzonte, sorto non si sa come né quando, c'è un secondo sole. È poco più grande del primo ma molto più debole: per questo la sua aurora era stata soffocata dalla luce del primo e il suo sorgere era passato inosservato. Emanava una luce di colore arancione, tendente al rosso. Ora tutti gli oggetti proiettano due ombre e i colori delle cose sono diversi secondo che cadano nell'ombra del primo sole, in quella del secondo, in quella di tutti e due o nelle zone illuminate da entrambi. A questo fantastico paesaggio non riusciamo neppure ad abituarci perché, a mano a mano che i due soli si spostano sulla volta celeste, prevale l'effetto dell'uno

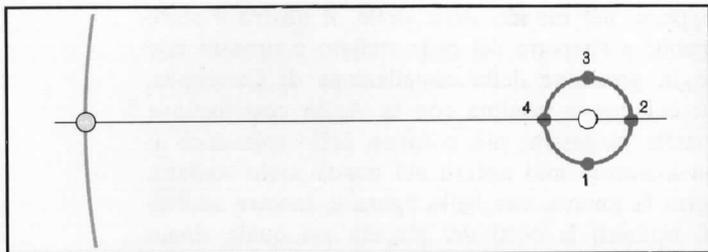


Fig.47 Visibilità di due soli da un pianeta orbitante intorno alla stella gialla del sistema Alfa del Centauro. Si è supposto che il pianeta sia simile alla Terra e distante dalla stella gialla quanto dista la Terra dal Sole, e inoltre che si muova, intorno al proprio asse e sull'orbita, in senso antiorario. Il piano della sua orbita è stato supposto coincidente con quello dell'orbita della stella arancione (in grigio). Quando il pianeta è nella posizione 1 si vede sorgere il sole arancione a mezzogiorno del primo; nella posizione 2 i due soli sorgono, culminano e tramontano insieme; nella posizione 3 il sole arancione sorge per primo, e a mezzogiorno di questo si leva il sole giallo; nella posizione 4, infine, ognuno dei due soli sorge al tramonto dell'altro: in quest'ultima posizione, per gli ipotetici abitanti del pianeta, non ci sono notti ma solo, alternativamente, giornate 'rossastre' e giornate 'gialle'.

o dell'altro e il paesaggio, anzi noi stessi, cambiamo continuamente nelle ombre e nei colori. Se tanta varietà di toni e di colori assumono sulla Terra nel corso della giornata le cose illuminate da un unico sole, possiamo capire cosa deve succedere col lento alternarsi di due. Con l'avanzare del pomeriggio del primo, il secondo, ancora alto, prevale sempre più e quando, dopo il suo mezzogiorno, quest'ultimo rimane solo, tutto appare immerso in una nuova luce, smorta e rossastra, mentre gli oggetti tornano a proiettare una sola ombra. Ancora qualche ora e anche il secondo sole tramonta, in un mare di fuoco, lasciando rapidamente posto al familiare cielo della notte. Poche ore di notte, poi lo spettacolo ricomincia e un nuovo giorno con due soli torna a imporsi alla nostra ammirazione. Tutto questo dura per alcuni giorni ma non per sempre. Il quadro che abbiamo illustrato non è stabile poiché il pianeta sul quale ci troviamo compie in un anno un'intera rivoluzione intorno al primo sole e le posizioni relative cambiano continuamente. Al momento del nostro arrivo abbiamo supposto che il primo sole tramontasse nel pomeriggio del secondo ma quando il pianeta, dopo aver percorso circa un quarto della sua orbita, si troverà in posizione opposta al secondo, i due soli sorgeranno, culmineranno e tramonteranno insieme. In quei giorni potremmo assistere all'indescrivibile spettacolo dell'eclissi di un sole da parte di un altro sole. Dopo circa tre mesi sarà il sole arancione a sorgere per primo e quello giallo, simile al nostro, a seguirlo. Infine, dopo altri tre mesi, quando il pianeta si troverà allineato tra i due soli, ognuno sorgerà al tramonto dell'altro e non vi sarà più notte ma un giorno giallo e uno arancione che si alter-

neranno continuamente finché, a poco a poco, non si ritornerà nella condizione in cui ci eravamo trovati al nostro arrivo (FIG. 47). I compilatori di calendari di quel pianeta devono essere molto abili; tanto più che anche a questo punto la descrizione dei moti di quei corpi celesti non è completa. Infatti i due soli che abbiamo visto spostarsi sulla volta celeste, per ora solo apparentemente per effetto del moto del pianeta, in realtà non sono fermi nello spazio ma, a loro volta, si muovono entrambi intorno al baricentro del sistema, in modo da compiere un giro completo ogni 80 anni. Durante questo periodo giungono ad avvicinarsi tra loro fino a una distanza minima di 11,2 u.a.¹ e ad allontanarsi fino a una distanza massima di 35,5 u.a..

Abbiamo detto che il nostro pianeta circola intorno alla componente più brillante, quindi questa manterrà inalterato lo splendore e il diametro apparente. Il sole arancione, invece, apparirà in certe epoche più luminoso e più grande, in altre più piccolo e più debole e, naturalmente, oltre all'anno di un anno, durante il quale entrambi i soli si spostano sulla volta celeste fino a riprendere la posizione iniziale, il nostro pianeta avrà anche un 'anno' di 80 anni, nel corso del quale il sole arancione, oltre a cambiare in splendore e dimensioni apparenti, percorrerà lentamente tutta la volta celeste.

LE STELLE DOPPIE

Prima di continuare l'esplorazione del sistema di Alfa del Centauro è bene fermarci un momento a inquadrare quanto abbiamo visto e a ricordare come si è giunti alla conoscenza di questo doppio sole, anche attraverso la scoperta e lo studio di altri sistemi del genere. L'argomento è un po' complesso ma riusciremo a trovare risposte soddisfacenti per quasi tutte le domande prima della fine di questa prima tappa fra le stelle.

Il caso di un doppio sole come Alfa del Centauro è tutt'altro che raro. Moltissime stelle, che appaiono singole a occhio nudo, appaiono invece doppie, viste con un telescopio, in certi casi anche di modeste dimensioni. La prima stella doppia fu scoperta il 7 gennaio 1617 da Benedetto Castelli, amico di Galileo che, a sua volta, su segnalazione di questi, la osservò una settimana dopo. È Mizar, la stella centrale delle tre costituenti il timone del Gran Carro. È singolare notare che questa stella appare doppia anche a occhio nudo: chi ha buona vista può notare la compagna, molto più debole, vicinissima, a nord della più brillante.

Non è questa però la stella doppia che ci interessa: in questo caso la

¹ Si chiama unità astronomica (u.a.) la distanza media della Terra dal Sole. In chilometri si ha: 1 u.a. = 149 600 000 km.

vicinanza è solo prospettica. La più brillante, invece, osservata con un cannocchiale anche modesto, come fecero per primi Castelli e Galileo, si scinde in due astri che le osservazioni successive mostrarono legati tra loro.

Dopo questa furono scoperte diverse altre stelle doppie, ma fu solo nel 1779 che il grande astronomo W. Herschel incominciò sistematicamente a osservarle. Herschel credeva che la duplicità fosse solo prospettica e, supponendo che per ogni coppia la stella più debole fosse anche la più lontana da noi, si proponeva di porre in evidenza eventuali spostamenti della più brillante, dovuti sia al suo reale spostamento nello spazio sia all'effetto parallattico, dal quale, poi, avrebbe potuto ricavarne la distanza¹. Il confronto tra le misure effettuate tra il 1782 e il 1804 lo convinse, invece, del fatto che molte stelle doppie non potevano essere il frutto di puri accostamenti prospettici di stelle in realtà distantissime tra loro. Infatti in questo caso, confrontando le posizioni misurate a distanza di anni, non si sarebbe dovuto osservare alcuno spostamento o, eventualmente, uno spostamento rettilineo. Invece in molti casi egli trovò che una delle due stelle si era spostata intorno all'altra secondo un arco di ellisse, esattamente come avrebbe notato un osservatore esterno misurando la posizione della Terra rispetto al Sole nel corso dell'anno. Così, già nel 1803, egli poteva annunciare che molte delle stelle doppie osservate erano veri e propri sistemi fisici e dare anche i periodi di rivoluzione per cinque di esse.

In seguito a questa grande scoperta, W. Struve aprì, nel 1822, l'epoca d'oro dello studio delle stelle doppie. Dal controllo visuale di centoventimila stelle (tutte quelle fino alla magnitudine apparente 8,5 visibili al di sopra dell'orizzonte della sua città) compiuto con il rifrattore di 23 cm dell'Osservatorio di Dorpat, Struve poté scoprire e misurare oltre tremila stelle doppie. Le ricerche furono proseguite con profitto da lui stesso, all'Osservatorio di Pulkovo, dove era stato chiamato nel 1839, e dal figlio Otto. Sarebbe troppo lungo descrivere tutte le ricerche successive in questo campo. Ricorderemo soltanto che S. W. Burnham, A. Hall, E. Dembowski, G. Schiaparelli, E. S. Holden, R. T. A. Innes e, più recentemente, R. G. Aikten, W. J. Hussey, W. H. van den Bos, R. Jonckheere e numerosi altri astronomi, scoprirono un sempre maggior numero di doppie, estesero le osservazioni all'emisfero australe ed effettuarono un enorme numero di misure posizionali.

L'osservazione delle stelle doppie è tanto lunga e laboriosa che purtroppo spesso deve essere compiuta da diverse generazioni. Infatti, dopo aver scoperto la duplicità al telescopio e aver misurato la posizione di una

¹ I metodi per ricavare le distanze delle stelle vengono brevemente esposti nell'appendice I a pag. 307. La loro conoscenza, d'altronde, non è necessaria per la comprensione del resto.

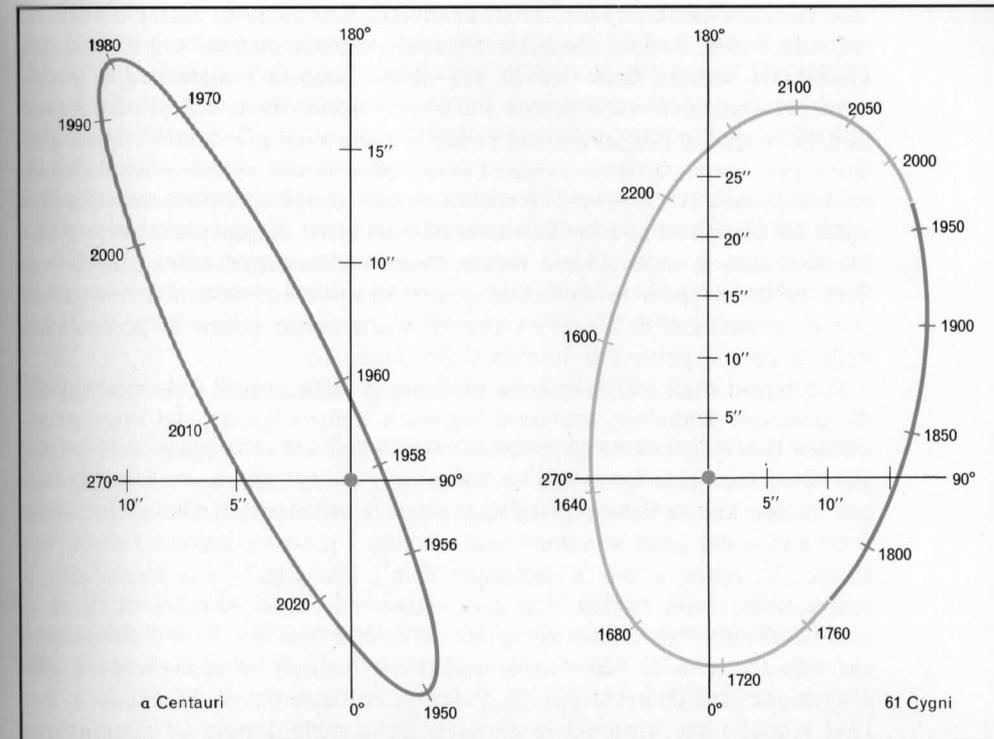


Fig.48 Orbite apparenti di due stelle doppie: α Centauri, osservata dall'epoca della sua scoperta (1689) per più di tre rivoluzioni; 61 Cygni, della quale è stato finora osservato il tratto in colore più intenso.

delle due componenti rispetto all'altra, occorre ripetere la stessa misura numerose altre volte a distanza di tempo. Confrontando poi le diverse posizioni si può constatare se una delle due stelle si è spostata oppure no e, nel primo caso, se ha percorso un tratto rettilineo o un'ellisse (generalmente solo un arco d'ellisse, FIG. 48). È evidente che solo in quest'ultimo caso si potrà affermare che la doppia è un sistema fisico. Purtroppo ci sono due limitazioni contrastanti per le quali è molto difficile giungere a questo punto. Per la terza legge di Keplero sappiamo che, se un corpo celeste si muove intorno a un altro (per esempio un pianeta intorno al Sole o la componente di una doppia intorno all'altra), più il corpo è lontano, più lentamente percorre la sua orbita. Se dunque una stella rivoluisce a breve distanza dalla sua compagna anche il suo moto sarà rapido, ma quando la distanza aumenta l'ellisse di rivoluzione sarà sempre più ampia e la stella la percorrerà sempre più lentamente. Il risul-

tato sarà che per compiere un'intera rivoluzione possono essere necessari, secondo i casi, decine, centinaia o anche migliaia di anni e, per scoprire l'eventuale legame fisico tra le due stelle, occorrerà attendere e osservare per anni, decenni o secoli. Purtroppo questo caso è il più frequente poiché, in quello più favorevole in cui le stelle sono più strette e la rivoluzione più veloce, urtiamo contro l'altra difficoltà che anche la loro distanza apparente è piccolissima, la stella non può essere sdoppiata neanche con i più grandi telescopi e la sua duplicità non viene nemmeno scoperta. Fanno eccezione le stelle doppie (anche strette) abbastanza vicine alla Terra. Sarà infatti proprio lo studio di questo campione abbastanza omogeneo che ci permetterà di avere un'idea di quale possa essere la percentuale delle doppie rispetto alla totalità delle stelle.

Il compito degli astronomi che studiano le stelle doppie è dunque quello di misurare, attendere, misurare ancora e spesso lasciare ad altre generazioni la soddisfazione di tirare le conclusioni. Altri semina, altri raccoglie. Può sembrare triste ma in realtà non è così. Questa collaborazione con coloro che ci hanno preceduto e con altri scienziati che ancora non sono nati o dei quali non sono nati neanche i genitori, estende l'uomo nel tempo, lo rende attivo e operante oltre i limiti della sua stessa vita e unisce nella stessa ricerca non solo astronomi contemporanei di razze o nazioni diverse ma anche scienziati di diverse epoche. Così l'astronomo che vide l'impero di Napoleone, quello che scampò miracolosamente alla distruzione dell'Osservatorio di Pulkovo nell'assedio di Leningrado del 1942 e quello che misurerà le posizioni delle stelle doppie all'osservatorio installato sulla Luna, saranno intorno allo stesso tavolo, ognuno col fardello delle proprie osservazioni, quando verranno tratte le conclusioni di un problema che li aveva ugualmente appassionati e alla cui soluzione hanno tutti ugualmente contribuito.

Intanto, con l'intento di offrire una visione dei lavori svolti finora sulle varie stelle doppie e di mostrare quali sono quelle per le quali sono richieste osservazioni con più urgenza, è stato pubblicato, pochi anni fa, un catalogo indice di tutte le stelle doppie osservate visualmente fino al 1960. Nelle sue pagine troviamo, tra l'altro, la posizione sulla sfera celeste di ogni coppia e le sue denominazioni nei vari cataloghi, il numero di volte che è stata osservata, l'anno dell'osservazione più antica e quella della più recente, tutte le caratteristiche fisiche note per le sue componenti, la distanza da noi e il moto del sistema nello spazio. Naturalmente alcuni dati, spesso, mancano non essendo stati mai ricavati ma, anche in questo caso, appare l'enorme importanza del catalogo che, elencando tutto quello che è stato fatto, mostra anche ciò che c'è tuttora da fare.

Da questo catalogo indice risulta che le stelle doppie finora osservate visualmente e misurate sono 64 247. Il numero di quelle per le quali

è stato possibile determinare l'orbita e stabilire con certezza un legame fisico, è di gran lunga inferiore: 696 alla data del 1970. I periodi ricavati sono, generalmente, di qualche decina d'anni. Il più breve è risultato finora quello della stella Wolf 630, di 1,7 anni (meno del periodo di rivoluzione di Marte); il più lungo, tra i più attendibili, quello della stella Eta di Cassiopea, di 480 anni.

Se di una stella doppia si conoscono la distanza, il periodo di rivoluzione e la lunghezza del semiasse maggiore dell'orbita, usando la III legge di Keplero nella forma generalizzata data da Newton, si può ricavare la somma delle masse. Infatti, partendo dalla legge della gravitazione universale si ottiene la terza legge di Keplero nella seguente forma:

$$K \frac{a^3}{P^2} = m_A + m_B$$

dove K è una costante, a è il semiasse maggiore espresso in secondi d'arco, P il periodo, m_A e m_B le masse delle due stelle. Guardando alla stessa distanza il sistema Terra-Sole, si avrà la relazione analoga:

$$K \frac{a_T^3}{P_T^2} = m_T + m_S$$

dove i simboli T e S indicano che ora le stesse grandezze si riferiscono alla Terra e al Sole. Dalle due espressioni si avrà:

$$\left(\frac{a''}{a_T''}\right)^3 \frac{P_T^2}{P^2} = \frac{m_A + m_B}{m_T + m_S}$$

Tenendo conto che $a_T'' = \pi$ per la definizione di parallasse (si veda l'appendice I a pag. 307) e che la massa m_T della Terra si può trascurare, assumendo la massa del Sole uguale a 1 e misurando il periodo in anni (in tal caso $P_T = 1$), si ha la formula:

$$\left(\frac{a''}{\pi''}\right)^3 \frac{1}{P^2} = m_A + m_B$$

dalla quale si vede appunto che, conoscendo la distanza (parallasse), il semiasse maggiore del sistema e il periodo, si può ricavare la quantità nel secondo membro che è appunto la somma delle masse espressa in unità di masse solari.

Se poi le misure posizionali sono state effettuate ricavando non la posizione della componente più debole rispetto a quella più brillante, ma quelle di entrambe rispetto ad altre stelle del campo, come risultato non si ottiene più l'orbita relativa della più debole ma le orbite assolute di entrambe, cioè le orbite di tutte e due le componenti intorno al baricentro comune. In tal caso, dato che, come ci dice la meccanica, le distanze delle

due componenti dal baricentro devono essere inversamente proporzionali alle masse, dal rapporto dei semiassi maggiori si ha immediatamente quello delle masse. Combinando i due risultati (somma e rapporto delle masse) un sistemino di equazioni di primo grado, che sappiamo risolvere fin dalla scuola media, ci permette di ricavare immediatamente le masse individuali.

Siamo giunti, dunque, a pesare le stelle. È un risultato stupendo, possibile soltanto nel caso delle stelle doppie. Non esiste infatti nessun altro metodo per ricavare individualmente la massa delle stelle.

Finora è stato possibile pesare soltanto un centinaio di stelle. Sono poche rispetto alle tante che popolano il cielo ma già bastano per darci un'idea della situazione.

È risultato che, in generale, le stelle pesano, più o meno, come il Sole. Stelle dieci volte più massicce del Sole sono rare, così come sono rare stelle che pesino un decimo del Sole. Del tutto eccezionali, poi, sono le stelle con masse qualche decina di volte quella solare.

Ed ecco i casi estremi. Le più pesanti stelle conosciute sono le due componenti del sistema binario HD 47129 (la cosiddetta stella di Plaskett) le cui masse sono risultate recentemente oltre 55 volte più grandi di quella del Sole. La stella più leggera è la Luyten 726-8B (molto più famosa, come vedremo, col nome successivo di UV Ceti). Secondo le osservazioni dell'astronomo W. J. Luyten, del quale porta il nome, il peso di ognuna delle due componenti è appena quattro centesimi quello del Sole. Sono stelle leggerissime. Ciò nonostante sono 13 300 volte più pesanti della Terra.

STELLE ECCEZIONALI

Nane bianche

Ma la scoperta più straordinaria compiuta pesando le stelle è stata quella della compagna di Sirio, la smagliante stella che splende durante le notti invernali nel cielo meridionale.

Fin dal 1844 F. W. Bessel, osservando il moto di Sirio nello spazio, aveva trovato che non era rettilineo ma oscillava periodicamente intorno a una posizione media e aveva dedotto che l'astro doveva essere perturbato da un altro corpo celeste di notevole massa (FIG. 49). Nel 1862 lo sconosciuto perturbatore veniva scoperto visualmente e battezzato: Sirio B. Era una stellina molto debole ed essendo relativamente vicina a noi (meno di 9 anni luce) non poteva essere un corpo intrinsecamente molto luminoso. Si pensò quindi che doveva essere certamente una stella a temperatura relativamente bassa, cioè rossa¹. Possiamo immaginare lo stupore degli astronomi quando W. S. Adams, nel 1915, scoprì che era

¹ La relazione tra colore e temperatura sarà meglio chiarita tra poco.

invece una stella bianca. Tutto assumeva un nuovo aspetto. Poiché, come è noto, tra due superfici della stessa area, è molto più luminosa quella al calor bianco di quella al calor rosso, il colore bianco della stella significava che, contrariamente a quanto si era pensato, essa era molto luminosa nell'unità di superficie e se, nonostante questo, e nonostante la sua vicinanza, ci appariva tanto debole, doveva trattarsi di una stella molto piccola.

Il proseguimento delle ricerche in questo senso mostrò, infatti, che Sirio B è grande appena il doppio della Terra ma, in uno spazio così limitato, contiene tanta materia da pesare quanto il Sole. Ne segue una densità incredibilmente elevata: quasi 200 000 volte quella dell'acqua. Su quel corpo un blocchetto di materia grande quanto una scatola di cerini peserebbe otto tonnellate. Essendo concentrata una massa tanto grande all'interno di una sfera tanto piccola, la gravità superficiale è enorme. Se

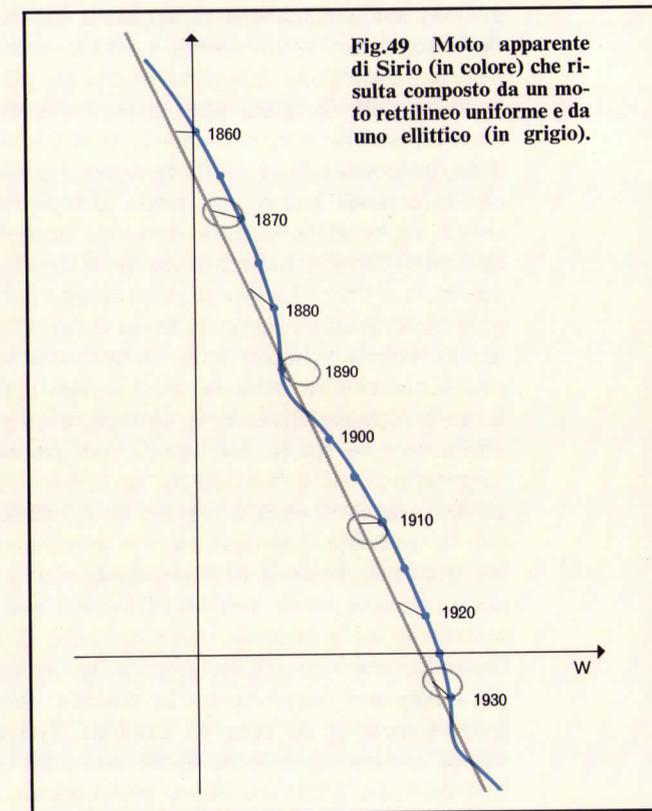


Fig. 49 Moto apparente di Sirio (in colore) che risulta composto da un moto rettilineo uniforme e da uno ellittico (in grigio).

un uomo potesse trasportarsi sulla superficie di Sirio B, per sollevare una massa di un grammo dovrebbe compiere un lavoro uguale a quello che farebbe sulla Terra per sollevare una massa pari a 200 kg. Ma un uomo, a parte tutto, non potrebbe rimanere neanche un istante su quell'astro (anche se questo fosse un corpo superficialmente freddo come la Terra) poiché morirebbe, letteralmente schiacciato dal proprio peso.

Fino a oggi sono state scoperte oltre 1500 stelle simili a Sirio B. Sono tutte molto vicine a noi e si ha ragione di ritenere che non se ne conoscono molte altre solo perché, data la loro piccolezza, sono di debole splendore. Per questa ragione, quindi, possono essere osservate solo quelle relativamente vicine alla Terra. In effetti diverse statistiche hanno mostrato abbastanza concordemente che devono esserci poco più di due nane bianche ogni cento stelle normali. Tuttavia solo per tre di esse (Sirio B, Prozione B e α_2 Eridani B) è stato possibile ricavare esattamente il valore della massa. Non sembra, però, che siano proprio queste le più dense. La nana bianca che detiene il record, tra le venticinque meglio studiate, è la LP 321-98, una stellina che ci appare quasi un milione di volte più debole delle più deboli stelle visibili a occhio nudo, la cui densità sembra essere oltre trecento volte maggiore di quella, già enorme, di Sirio B.

Chi è poco abituato alle 'strane' scoperte dei fisici e degli astronomi, avrà certamente scosso il capo con scetticismo nel leggere che una scatola di cerini possa contenere tanta materia da pesare otto tonnellate, convinto che la materia stessa non possa giungere a essere tanto condensata. In realtà anche gli astrofisici rimasero impressionati, considerando il fatto che sulla Terra si hanno al massimo venti grammi per centimetro cubo e persino sul Sole, dove la materia risulta già tanto pressata, non si superano i cento grammi per centimetro cubo. D'altra parte le osservazioni parlavano chiaro e non c'erano dubbi sulla validità della scoperta. L'interpretazione teorica data dai fisici è stata che la materia che compone l'interno di quelle stelle si deve trovare in un particolare stato fisico che non può essere né solido, né liquido, né gassoso. Tale stato è ora chiamato 'degenerato', ed è considerato un quarto stato nel quale la materia può ridursi, quando venga a trovarsi in condizioni particolari. Ci spiegheremo con un esempio. Immaginiamo di accumulare in un grosso silo una enorme quantità di uova e di continuare ad aggiungerne sempre. Finché le uova saranno poche non accadrà nulla ma, a un certo punto, quelle sottostanti si schiacceranno, vinte dal peso di quelle accumulate sopra, occupando, dopo lo schiacciamento, un volume molto minore. Così è per gli atomi che compongono la materia. Allo stato gassoso vagano nello spazio, separati da notevoli distanze. Nei corpi allo stato liquido le distanze diminuiscono e in quelli allo stato solido si riducono ancor più, in modo che gli atomi sono, più o meno, a contatto come le uova che

avevamo ammassati poco fa. Ma, quando la pressione raggiunge livelli altissimi (pari a quasi dieci milioni di atmosfere) l'edificio atomico cede e si sfascia e la materia, pur non essendo né gassosa né liquida, non è più neanche solida. Le proprietà di questo stato degenerato sono state studiate soprattutto da Enrico Fermi e la materia degenerata è chiamata anche 'gas di Fermi'. In queste condizioni la materia non irradia più energia. Anche portata a temperature elevatissime, a centinaia di milioni di gradi, appare, per un osservatore esterno, scura e fredda.

Scure e fredde sono dunque anche le stelle nane bianche, eccettuato uno strato esterno nel quale la materia non è degenerata. Tale strato, essendo luminoso, le ha mostrate ai nostri occhi e ci ha permesso di scoprire anche le meravigliose stranezze di quella parte interna dell'astro, che nessuno vedrà mai.

Stelle multiple

Ma torniamo adesso nel mondo delle stelle doppie normali. Qui ci attende ancora una volta una sorpresa: non esistono solo stelle doppie ma anche triple, quadruple e persino sestuple. L'osservazione al telescopio di questi brillanti celesti, specialmente quando le varie componenti hanno diversi colori, è veramente incantevole. Qualcosa di inimmaginabile deve essere poi lo spettacolo che esse offrono agli abitanti dei pianeti dei loro sistemi. Altro che le due aurore e i due tramonti ai quali avevamo assistito dal pianeta di Alfa del Centauro!

Ma se torniamo a osservare il cielo da quel pianeta, compiremo un'ultima importante scoperta: anche Alfa del Centauro è una stella tripla. Non ce ne eravamo accorti subito perché dal pianeta sul quale eravamo arrivati il terzo sole appare debolissimo: come una stella e delle più deboli. Esso è infatti una stella rossa, intrinsecamente molto debole e anche molto distante dalla coppia principale. Dalla Terra era stata osservata a lungo e notata come una stella molto vicina a noi e anzi, secondo certe misure, era sembrata ancor più vicina di Alfa del Centauro. Per questo era stata chiamata Proxima. Ormai è sicuro che queste tre stelle hanno pressoché la stessa distanza dal Sole e formano un unico sistema. Secondo l'astronomo C. Gasteyer la distanza di Proxima dalle due stelle centrali è di almeno 6700 u.a. Ciò significa che essa compie una rivoluzione completa intorno alle prime due in non meno di 367 000 anni.

I PIANETI DELLE STELLE PIÙ VICINE

Ecco cosa ci ha mostrato una sola stella, la più vicina a noi. Abbiamo scoperto il mondo delle stelle doppie e abbiamo avuto visioni inconsuete da un pianeta reso meraviglioso già dal solo fatto d'appartenere a quel

sistema. Dopo tante cose straordinarie non ne resterebbe che una: scoprire che anche quel pianeta che avevamo inventato esiste davvero. Ebbene, non è sicuro se proprio il pianeta nei pressi di Alfa del Centauro esista o no ma una cosa è certa: al di fuori del sistema solare, nei pressi di altre stelle, esistono altri corpi oscuri.

In altri termini, il sistema planetario al quale appartiene la nostra Terra, forse non è l'unico esistente nell'universo.

Effettivamente, fin da quando era stato scoperto che le stelle sono astri simili al Sole, che ci appaiono come piccoli punti luminosi solo per effetto dell'enorme distanza, si era pensato che potessero costituire anche i centri di altrettanti sistemi planetari analoghi al nostro.

Già fin dalla fine del secolo scorso, quindi, si accarezzava l'idea che il numero dei pianeti simili alla Terra, presenti nell'universo, potesse essere enorme e senz'altro superiore a quello delle stelle poiché, appunto, per ogni stella, vi potevano essere almeno cinque o sei pianeti. Purtroppo nessuno di tali pianeti era stato mai visto. In realtà nessuno ancora li ha mai visti e ci affrettiamo ad aggiungere che, quasi certamente, nessun occhio umano li vedrà mai, almeno dalla Terra. Per capirne la ragione ricorriamo a un esempio. Supponiamo, ponendoci nelle migliori condizioni, che Alfa del Centauro possieda realmente il nostro ipotetico pianeta, che sia delle dimensioni di Giove e che le ruoti intorno alla stessa distanza che separa Giove dal Sole. Si calcola allora che un osservatore terrestre potrebbe notare tale corpo come una stellina di magnitudine 23, cioè accessibile appena al più potente telescopio del mondo, che sarebbe letteralmente cancellata, nel campo del telescopio, dalla luce preponderante della stella principale.

Se le cose vanno tanto male con un pianeta grande come Giove e nel caso della stella più vicina, che è il più favorevole, possiamo capire quanto andrebbero peggio per stelle appena più distanti o per pianeti minori di Giove. I pianeti extrasolari, dunque, almeno con i mezzi attuali, non si possono assolutamente vedere. Gli astronomi hanno cercato, allora, di superare la difficoltà in un altro modo. Hanno pensato che, in fondo, non era essenziale vederli; l'importante era scoprirne l'esistenza. Ciò non è la stessa cosa. Infatti, in questo caso, si può ancora applicare, nelle circostanze più favorevoli, il metodo delle perturbazioni che, già nello scorso secolo, aveva permesso la scoperta di Nettuno e di Sirio B. Così si può non solo scoprire l'esistenza di un corpo invisibile e sconosciuto, ma anche calcolare la sua massa e la distanza che lo separa dalla stella intorno alla quale ruota (FIG. 50). Con tale metodo, nel 1937, all'Osservatorio di Sproul, venne iniziato un programma di osservazione di tutte le stelle vicine.

Il primo successo fu raggiunto con la stella doppia 61 Cygni. Nei pressi di una delle due componenti venne accertata la presenza di un corpo oscuro

con una massa otto volte superiore a quella di Giove. Questo corpo si muove intorno al suo sole in 4 anni 9 mesi e 15 giorni, a una distanza media di 2,4 u.a., cioè poco meno della distanza di Giove dal Sole. Un possibile altro pianeta è stato scoperto, più recentemente, nei pressi della cosiddetta 'stella di Barnard'. Esaminando oltre duemila lastre, ottenute a Sproul tra il 1916 e il 1962, l'astronomo P. van de Kamp trovò che il moto di questa stella sulla sfera celeste non era rettilineo ma secondo la serpentina tipica dei corpi perturbati. Ricerche successive lo hanno poi condotto alla con-

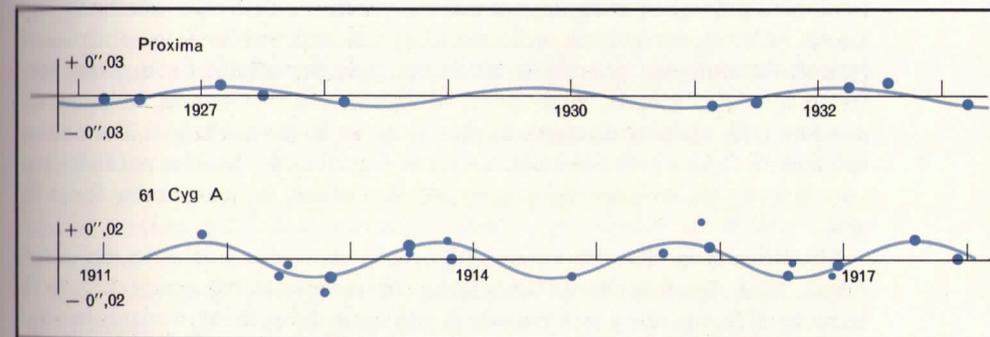


Fig.50 Moto perturbato di due stelle, Proxima Centauri e 61 Cygni A: gli scostamenti dall'andamento rettilineo sono dovuti probabilmente alla presenza di un compagno oscuro.

clusione che i corpi perturbatori sono due: uno della massa di Giove, più vicino alla stella, intorno alla quale si muove con un periodo di undici anni e mezzo, un altro con massa 0,4 volte quella di Giove, che circola in 22 anni su un'orbita più ampia. Si è calcolato che, nel corso delle loro rivoluzioni, entrambi i corpi devono raggiungere distanze apparenti dalla stella centrale tali che, se fossero stelle, diverrebbero visibili al telescopio. Ciò non si è verificato. Deve dunque trattarsi di corpi oscuri, cioè di pianeti.

Questi sono due dei risultati più completi e sicuri. Per ora non si sa molto di più. Ma va notato che gli spostamenti apparenti dovuti alle perturbazioni sono molto piccoli e la loro misura, anche nei casi favorevoli delle stelle più vicine, è appena al di sopra del limite delle possibilità dei nostri strumenti. Basti pensare, per esempio, che, nel caso del pianeta di 61 Cygni, lo spostamento massimo appare di appena $0''.02$. Ciò corrisponde all'angolo sotto il quale si vede un oggetto di un metro dalla distanza di 10000 km.

Se si pensa a queste difficoltà bisogna riconoscere che il numero delle stelle nei pressi delle quali sono stati scoperti corpi oscuri è relativamente alto. Infatti, delle cinquantanove stelle più vicine a noi, ben otto possiederebbero

pianeti. E questi osservati sono i casi più favorevoli, cioè quelli dei pianeti molto pesanti. Eventuali altri pianeti di masse inferiori ci sfuggono, proprio come ci sfuggirebbero tutti quelli del nostro sistema solare se si tentasse di osservarli da una distanza superiore a quella della stella più vicina.

Esistono dunque altri sistemi planetari. Esistono, e certamente in numero superiore a quello che i nostri mezzi limitati ci hanno permesso finora di scoprire. Dunque il mondo stellare è ben più popolato di quanto appaia al nostro occhio e quei corpi che non vediamo sono proprio quelli sui quali, a differenza delle stelle, può svilupparsi la vita, forse il pensiero. E come quando, nel buio della notte, guardando da lontano le luci di una città, pensiamo che per ognuna di esse vi sono tante case delle quali non vediamo né le singole luci, né, tanto meno, gli abitanti, ma intuiamo entro quel formicolio luminoso, gradevole all'occhio, una popolazione che gode, soffre, lavora e si diverte, si muove e si riposa, nasce e muore, così, guardando il cielo stellato, dovremo sentire, ora, che anche quelle luci illuminano residenze e forse attività che non vediamo e quelle scintille, che per il nostro sguardo sono solo un ornamento, per altri esseri rappresentano forse la vita.

Ma l'esistenza di altri sistemi planetari ha valore anche in un altro senso. Essa significa che, se un giorno arriveremo a sviluppare le nostre tecniche al punto da poter lasciare il sistema solare, avremo mete da raggiungere, approdi per le nostre astronavi e per l'uomo, forse, nuove terre e nuovi cieli. Forse esiste realmente anche l'ipotetico pianeta di Alfa del Centauro e un giorno potranno veramente sbarcarvi esseri umani per contemplare quel fantasmagorico spettacolo che poco fa noi, guidati dalla scienza, abbiamo visto soltanto con la nostra fantasia.

VARIETÀ STELLARI

Quando eravamo sul pianeta di Alfa del Centauro avevamo visto che mentre una delle stelle di quel sistema è gialla come il nostro Sole, un'altra è arancione e la terza rossa, e che queste ultime due sono più deboli della prima. Dunque le stelle non hanno tutte né lo stesso colore né lo stesso splendore. Se approfondiremo questo argomento verremo a scoprire cose molto importanti.

Cominciamo dal colore. Esistono stelle azzurre, bianche, gialle, arancione e rosse, naturalmente con tutte le sfumature intermedie. A queste differenze di colore, che con un po' di attenzione chiunque può notare anche osservando le stelle a occhio nudo, corrisponde un'altra differenza più profonda: quella degli spettri.

È noto che osservando con uno spettroscopio la luce di una sorgente luminosa (per esempio del Sole) si vede una striscia continua dai colori

dell'iride (violetto, blu, azzurro, verde, giallo, arancione, rosso) solcata da numerose righe scure, ognuna delle quali corrisponde a un certo elemento o composto. Questa striscia si chiama spettro. Il continuo con i vari colori ha origine nella sorgente ad alta temperatura che emette la luce, le righe dagli elementi del gas, a temperatura più bassa, che viene a trovarsi tra la sorgente luminosa e noi. Se non c'è nessun gas avanti al corpo incandescente che emette il continuo, le righe oscure non si vedono, mentre se mancasse il corpo luminoso e fosse presente unicamente il gas a una certa temperatura, si vedrebbero solo le righe che, in questo caso, apparirebbero luminose (si vuol dire in emissione) contro un fondo scuro.

Gli spettri offrono un potente mezzo per scoprire la composizione chimica delle stelle e degli altri corpi celesti. Per vedere, per esempio, se c'è idrogeno su una stella della quale abbiamo ottenuto uno spettro, basterà ottenere in laboratorio lo spettro di questo stesso elemento, che mostrerà un certo gruppo di righe: una nel rosso, un'altra nel verde, altre nel blu, ecc. Se troveremo le stesse righe nello spettro della stella, la presenza dell'idrogeno nel suo involucro gassoso risulterà sicuramente accertata. Misurando, poi, l'intensità delle righe, potremo sapere anche quanto idrogeno è presente. Ciò vale per qualsiasi altro elemento.

Ora, osservando gli spettri delle stelle dei diversi colori, si notano grandi differenze. Quelli delle stelle blu mostrano essenzialmente le righe dell'elio ionizzato, quelli delle stelle bianche le righe dell'idrogeno, le stelle gialle sono ricche di metalli e quelle rosse di composti molecolari del carbonio, di ossido di titanio e di ossido di zirconio.

La differenza sia dei colori sia degli spettri è causata dalla variazione di un importantissimo parametro fisico: la temperatura.

Chi non si è mai fermato un momento a guardare un fabbro al lavoro! Il ferro da modellare, sotto l'azione crescente del calore del fornello, alimentato dal mantice, diviene dapprima rosso, poi giallo e infine quasi bianco. La stessa cosa vale per le stelle: quelle rosse hanno temperature relativamente basse; quelle gialle, alte; quelle azzurre, altissime. È una legge fisica (la cosiddetta legge di Wien) che si applica alle stelle come a qualsiasi altro corpo. È questa la causa della diversa intensità relativa dei vari colori e quindi dei diversi colori delle stelle.

Per spiegare, invece, il fatto che in alcuni spettri appaiono certi elementi e in altri se ne vedono altri, più che il paragone con la fucina ci aiuterà la diretta interpretazione del meccanismo.

Il gas che compone l'atmosfera stellare, come tutta la materia che cade sotto i nostri sensi, è composto da atomi. Come si è già visto, l'atomo può essere concepito come una specie di sistema solare in miniatura, formato da un nucleo positivo, nel quale risiede la maggior parte della massa, e da un certo numero di elettroni periferici, aventi una carica negativa

globale dello stesso valore di quella del nucleo, in modo che il tutto risulti elettricamente neutro. Alcuni atomi possono riunirsi insieme per formare una molecola; così due atomi di idrogeno formano una molecola di idrogeno, due atomi di idrogeno e uno di ossigeno formano una molecola d'acqua, ecc. Ma il legame che vincola gli atomi nelle molecole o gli elettroni al nucleo può essere spezzato. A titolo d'esempio, basterà concepire una molecola di tre atomi come un gruppo di tre palline calamitate attaccate insieme. Lanciandogli contro una palla, se piomberà addosso al gruppo con sufficiente energia potrà riuscire a far saltare via una delle palline o addirittura a sfasciare tutto: le tre palline verranno sbalzate talmente lontano da non risentire più della reciproca attrazione magnetica e il gruppo non si riformerà più. Qualcosa di simile accade sulle stelle.

La temperatura di un corpo è dovuta proprio al fatto che le particelle che lo compongono, siano atomi o molecole, si muovono e, più si fornisce loro energia, più aumenta la velocità e, quindi, la temperatura del corpo.

Se ora nell'atmosfera di una stella sono presenti molte molecole di ossido di titanio, ciò significa che la temperatura è inferiore a quella necessaria a portare le particelle a una velocità tale che urtando una molecola di ossido di titanio si spezzi il legame e il titanio venga separato dall'ossigeno. Se troviamo metalli neutri vuol dire che la temperatura è ancora abbastanza bassa da non consentire che vengano strappati uno o più elettroni periferici al dominio del nucleo. Quando questo accade si dice che l'elemento è ionizzato e può esserlo una, due o più volte secondo che abbia perduto uno, due o più elettroni. Conoscendo dunque, da esperienze di laboratorio e dalla fisica teorica, le energie di dissociazione delle molecole e i potenziali di ionizzazione dei vari elementi presenti nelle stelle, dalla loro presenza o no si può ottenere la temperatura.

Anche la differenza delle intensità delle righe dei diversi elementi nei vari tipi di spettri non indica, dunque, una vera e propria diversità di composizione da una stella all'altra¹, ma solo una diversità di temperatura, e anzi permette una determinazione di quest'ultima più accurata di quanto era possibile fare solo attraverso il colore.

I diversi tipi spettrali sono stati disposti in varie classi, contrassegnate da lettere dell'alfabeto e accompagnate da un numero (da 0 a 9) per distinguere una sottoclassificazione più fine in seno a ogni classe. Poste in ordine di temperatura decrescente esse sono le seguenti:

O B A F G K M

Gli astronomi anglosassoni ritengono che questa sequenza si ricordi meglio con la seguente frase: «O, Be A Fine Girl, Kiss Me», che vuol dire:

¹ Tali differenze possono esserci ma il loro effetto è più sottile e la loro scoperta più laboriosa.

«Sii una brava ragazza, baciami», frase che in italiano, evidentemente, non serve, almeno per ricordare la classificazione spettrale delle stelle.

I principali risultati ottenuti sulla base delle precedenti considerazioni sono espressi nella FIG. 51. L'intensità delle righe varia: quelle dell'idrogeno sono più intense nello spettro di Sirio (di tipo A0); a partire dal tipo K0 si può notare la formazione e lo sviluppo delle bande molecolari.

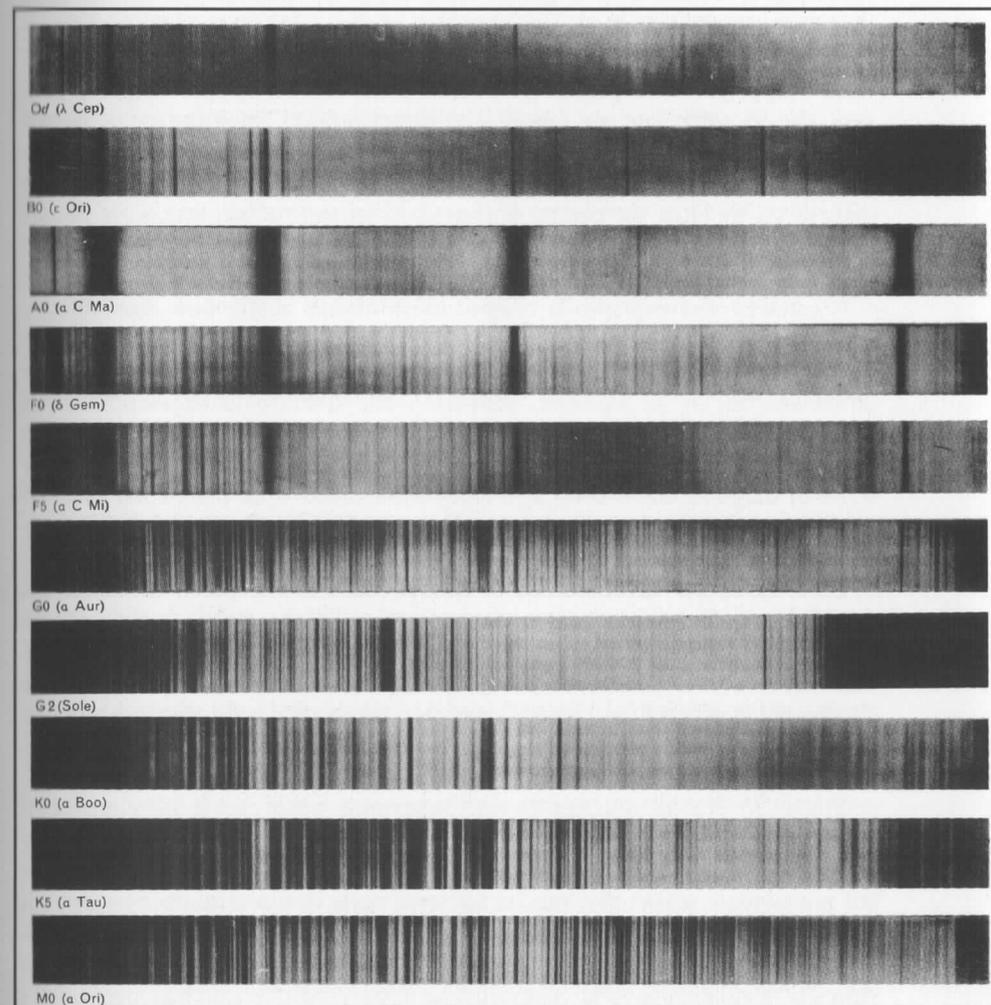


Fig.51 Spettri di alcune stelle (indicate entro le parentesi), secondo la classificazione di Harvard. Si noti il progressivo aumentare del numero delle righe (*University of Michigan*).

Passiamo ora allo splendore. Tanto per orientarci meglio e confrontare le stelle tra loro, d'ora in poi non diremo più che alcune stelle sono più luminose, altre più deboli e così via, ma indicheremo il loro splendore con numeri che esprimano direttamente quanto una stella è più brillante o più debole di un'altra e così via. La scala che useremo fu introdotta due-mila anni orsono dagli astronomi greci e, salvo piccoli ritocchi ed estensioni, è tuttora in corso. In essa si attribuisce allo splendore delle stelle più luminose il valore 1 e a quello delle stelle debolissime, al limite della visibilità a occhio nudo, il valore 6, alle altre quelli intermedi. Questi valori si chiamano grandezze o magnitudini apparenti. La parola magnitudine è oggi preferita perché grandezza potrebbe erroneamente farci pensare che lo splendore sia legato alle dimensioni. L'aggiunta della parola apparente precisa che essi ci danno un'idea soltanto di come le stelle appaiono viste dalla Terra; infatti, una stella può avere una magnitudine diversa da un'altra sia perché è diverso lo splendore intrinseco sia perché è diversa la distanza e possiamo conoscere la verità solo misurando l'uno o l'altra.

Il numero che esprime la magnitudine di una stella non dice direttamente quanto una stella è più debole di un'altra poiché esso è, in fondo, l'espressione di una sensazione dell'occhio e, per una legge psicofisica enunciata da G. T. Fechner, sappiamo che quando la sensazione varia con la progressione aritmetica 1, 2, 3, 4, ... lo stimolo corrispondente era variato invece in progressione geometrica. In altre parole si trova che le stelle di magnitudine 6 sono non cinque ma cento volte più deboli di quelle di magnitudine 1, e così via, di 100 in 100, ogni volta che la magnitudine varia di cinque unità.

Un'altra strana caratteristica di questa scala è che, per il modo in cui è stata costruita, più le stelle sono deboli più è alto il valore del numero che esprime il loro splendore. Così le stelle tanto deboli da essere appena osservabili con il telescopio più grande del mondo sono di magnitudine 23 mentre le più brillanti visibili a occhio nudo, che sono quattro miliardi di volte più luminose, sono di magnitudine 0. Il Sole, poi, è quarantotto miliardi di volte più brillante di quest'ultime.

Tutto ciò era abbastanza ovvio. Sapevamo bene che il Sole appare di gran lunga più luminoso delle stelle e l'aver precisato che esso è cento miliardi di miliardi di volte più splendente di quelle appena raggiungibili col più potente telescopio, non ci ha detto nulla di concettualmente nuovo.

Ben diverso sarebbe, invece, poter precisare quanto il Sole è intrinsecamente più brillante o più debole delle altre stelle. In altri termini se si riuscisse a determinare la magnitudine apparente che avrebbe ogni stella (compreso il Sole) posta a una certa distanza da noi, uguale per tutte, allora sì che il confronto delle magnitudini ci direbbe immediatamente

quanto una stella è realmente più brillante o più debole di un'altra. Per far questo gli astronomi hanno introdotto la cosiddetta magnitudine assoluta. Precisamente, essi hanno così chiamato la magnitudine apparente che avrebbe ogni stella immaginata alla distanza convenzionale di 32,6 anni luce da noi. Da quanto abbiamo detto è evidente che per ricavare la magnitudine assoluta occorre conoscere la magnitudine apparente e la distanza. Note queste, essa si ricava immediatamente con una formula semplice che, per i lettori più curiosi, riportiamo nell'appendice I, dove si capirà anche perché il valore adottato per la distanza convenzionale ha un'aria piuttosto strana. Ma questo è solo un approfondimento tecnico.

Più suggestivo, invece, è fare qualche confronto tra le luminosità delle stelle che conosciamo, prima fra tutte il Sole.

Portato alla distanza di 32,6 anni luce, il Sole apparirebbe di magnitudine 4,8, sarebbe cioè ancora visibile a occhio nudo, ma molto debole. Molte stelle che vediamo a occhio nudo diverrebbero invisibili e ciò mostra che, in fondo, il Sole non è una delle stelle più deboli. Altre, invece, anche tra quelle invisibili, diverrebbero splendidissime: cento, mille volte più brillanti di come le vediamo. Se tutte le stelle visibili a occhio nudo, pur mantenendo la stessa posizione sulla volta celeste, potessero essere allontanate o avvicinate a noi in modo da essere tutte alla distanza di 32,6 anni luce, il cielo diverrebbe irriconoscibile. Alcune, come Sirio e Altair, si indebolirebbero solo un poco; altre sparirebbero; molte, invece, apparirebbero assai più brillanti. Le costellazioni cambierebbero aspetto completamente e il cielo diverrebbe splendido e luminoso, come la volta di un Luna Park. Oltre cinquecento stelle apparirebbero molto più luminose di Sirio, che ora è la stella più brillante del nostro cielo, e alcune sarebbero addirittura cento volte più luminose. Se una notte potessimo avere una simile visione, prima di tutto resteremmo interdetti ma poi, nel nostro stupore, ci chiederemmo il perché di un simile cambiamento che, in effetti, ci avvicinerebbe alla realtà molto di più della visione consueta, falsata dalle diverse distanze. Evidentemente ciò significa che le stelle possono essere più o meno brillanti del Sole oppure di dimensioni notevolmente diverse dal Sole e tra loro o, infine, che possono verificarsi entrambi i casi.

La risposta più chiara e completa è fornita da un famoso diagramma, scoperto indipendentemente dagli astronomi E. Hertzsprung e H. N. Russell, dei quali porta il nome, che si è rivelato una delle più grandi scoperte astrofisiche di questo secolo e uno dei più potenti mezzi di indagine per illuminarci sui misteri dell'universo stellato, l'essenza delle stelle, il loro passato e il loro futuro (FIG. 52).

Per meglio comprenderlo, costruiamolo noi stessi. Supponiamo di rappresentare con un punto di un piano ogni stella o meglio le due sue caratteristiche che abbiamo già conosciuto, cioè il tipo spettrale e la magni-

tudine assoluta. Il primo lo esprimeremo in corrispondenza dell'asse orizzontale, la seconda attraverso quello verticale. Contrariamente a quanto ci si potrebbe aspettare, i punti non si sparpagliano a caso su tutto il piano ma si distribuiscono soprattutto in certe zone, in modo da formare una specie di 7 rovesciato. Consideriamo per primo il ramo discendente da sinistra a destra, chiamato anche sequenza principale. Tenendo presente che la magnitudine assoluta indica lo splendore intrinseco delle stelle e il tipo spettrale la temperatura, si vede immediatamente che le stelle del tipo O sono più calde e più luminose di quelle del tipo M; la stessa

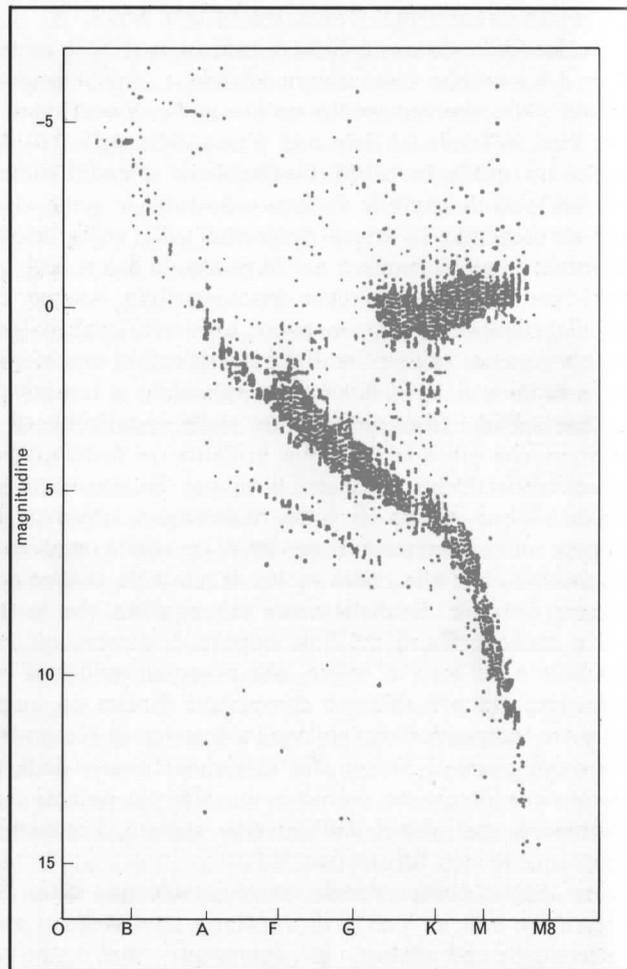


Fig.52 Diagramma di Hertzsprung-Russell per punti (da *Astronomicheskie Zhurnal*) che dà in ascisse il tipo spettrale, in ordinate la magnitudine assoluta. La maggior parte delle stelle si dispone in una zona con andamento obliquo da sinistra in alto a destra in basso, detta sequenza principale. Vi sono poi altri due raggruppamenti ai lati opposti della sequenza principale che corrispondono rispettivamente alle stelle giganti (sopra) e alle nane bianche (sotto).

cosa vale, in misura minore, per quelle degli altri tipi spettrali. Ciò è del tutto naturale ed era facilmente prevedibile perché tutti sanno che la superficie di un corpo a una certa temperatura emette molta più energia (in particolare più luce) di quella di un altro a temperatura notevolmente inferiore. Ma cerchiamo ora di spiegarci il gruppo di stelle in alto a destra. Qui la nostra interpretazione non torna più bene. Troviamo, infatti, stelle di tipo M, cioè a temperature relativamente basse (intorno ai 3500 K), brillanti quanto le stelle di tipo B che sono invece ad alte temperature (intorno a 20 000 K e più ancora). La spiegazione può essere una soltanto: dato che la temperatura delle stelle M deboli e di quelle brillanti deve essere la stessa, la quantità di luce emessa dall'unità di superficie, per esempio da 1 m², deve essere identica in entrambi i casi. Se dunque una delle due stelle è più luminosa vuol dire che la sua superficie totale è maggiore. In altri termini le stelle M più luminose hanno diametri più grandi di quelle più deboli. I calcoli sviluppati sulla base di questo ragionamento mostrano che le stelle M e K più brillanti devono essere molto più grandi delle altre. Gli astronomi hanno chiamato giganti le prime e nane le altre.

Le stelle possono avere dunque diametri molto diversi (FIG. 53). Ciò accade non solo per le stelle rosse dei due gruppi ma anche per quelle della sequenza principale. Si è trovato infatti che le stelle B e A, anche se non raggiungono i diametri delle giganti rosse, sono più grandi di quelle dei tipi spettrali più avanzati, cioè, andando dal tipo O al tipo M lungo la sequenza principale, le stelle sono via via più piccole. Questo effetto viene dunque a sommarsi a quello della diversa temperatura. Così le stelle M nane sono più deboli delle B o delle A non solo perché sono meno calde ma anche perché sono più piccole.

I diametri delle stelle si possono misurare anche direttamente, con metodi diversi secondo i casi, e purtroppo non applicabili a tutte. Le misure dirette hanno confermato l'esattezza dei risultati raggiunti col diagramma H-R. Ed ecco quanto è stato trovato quantitativamente.

Innanzitutto è risultato che molte stelle hanno pressappoco il diametro del Sole. In linea generale sono quelle della sequenza principale dei tipi F e G, le prime, leggermente più grandi, quelle delle ultime sottoclassi G, leggermente più piccole. Le stelle del tipo A sono grandi circa il doppio del Sole, quelle di tipo B, circa otto volte, le O circa dodici volte e le M, invece, circa la metà. Le stelle del gruppo delle giganti sono tutte più grandi di quelle della sequenza principale dello stesso tipo spettrale. Così le giganti F sono quattro volte più grandi del Sole, quelle G una decina e le M fino a quaranta volte. Sono state poi trovate stelle di diametro superiore a quello delle giganti, chiamate, naturalmente, supergiganti. I loro diametri vanno da settantacinque volte quello del Sole, per quelle dei tipi O e B, a trentacinque per le F e a duecentottanta per le M. Queste ultime

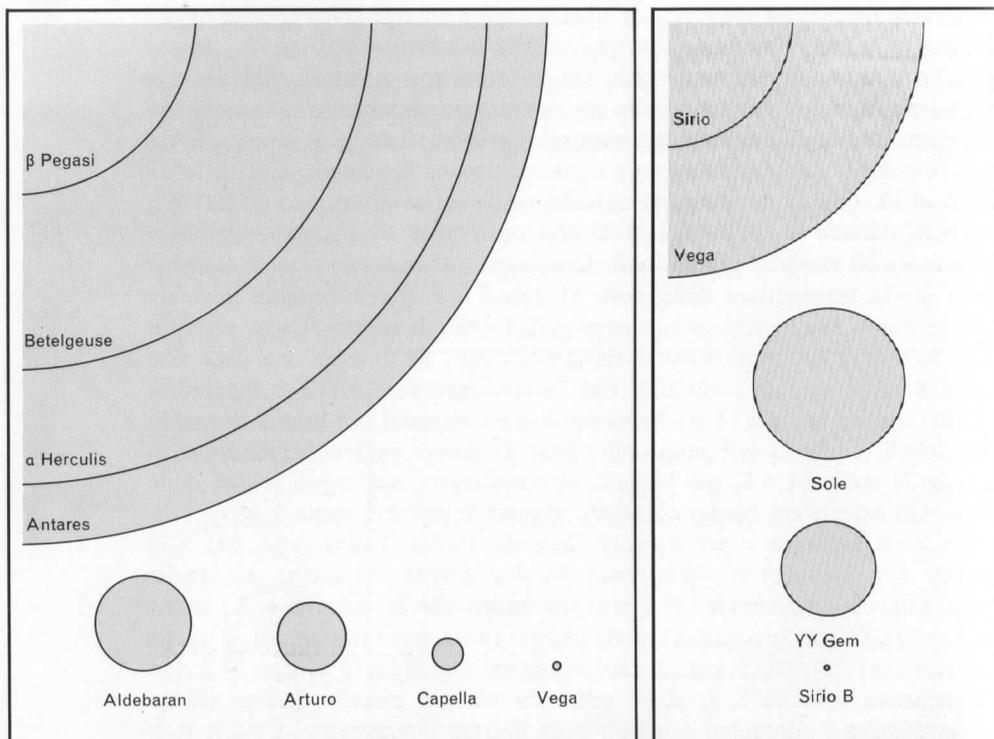


Fig.53 Diametri di alcune stelle confrontati tra loro e con quello del Sole secondo due scale diverse.

sono veramente enormi. Se una di esse fosse posta al centro del sistema solare in sostituzione del Sole, si estenderebbe fino oltre l'orbita della Terra e ingoierebbe nel suo interno infuocato il nostro pianeta, Venere e Mercurio. Ma questi non sono ancora i casi estremi. Le stelle più piccole sono le nane bianche aventi diametri poco più grandi di quello della Terra. Le più grandi sono alcune stelle doppie, come ϵ Aurigae e VV Cephei, i cui diametri superano di mille volte quello del Sole. Quest'ultima, che è la più grande stella conosciuta, ha un diametro millenovecento volte maggiore di quello solare¹. Posta al centro del nostro sistema planetario lo invaderebbe quasi tutto giungendo a distruggere anche Saturno. Solo i pianeti più lontani: Urano, Nettuno e Plutone, si potrebbero scaldare alla luce rossa di questo immenso sole che coprirebbe quasi tutto il loro cielo.

¹ Secondo le misure di B. F. Peery (1966) il diametro sarebbe invece milleseicentoventi volte quello del Sole.

Per avere un quadro completo della varietà delle stelle che abbiamo incontrato fino a ora dobbiamo fare ancora una piccola considerazione. Abbiamo visto che le masse delle stelle non giungono a essere maggiori di una decina di volte quella del Sole e ora veniamo a sapere che invece i volumi possono giungere fino a migliaia di volte quello del Sole. La conseguenza immediata è che le densità di molte stelle, soprattutto delle giganti e delle supergiganti, sono bassissime. Le differenze di densità da una stella all'altra sono dunque ancora più grandi di quelle tra le masse e tra i volumi. All'estremo inferiore troviamo stelle la cui densità è appena due-tre centesimi di quella del Sole, e a quello superiore le nane bianche, dense da centomila a dieci milioni di volte più del Sole.

I DINTORNI DEL SOLE

Ecco dunque cosa ci ha condotto a scoprire sulle stelle una prima esplorazione dei dintorni del Sole. Per avere ora una visione sintetica più chiara vediamo quante e quali stelle incontriamo in quella parte dello spazio a noi più vicina, nella quale conosciamo anche stelle relativamente deboli e alcuni oggetti addirittura invisibili. Considereremo nostre vicine tutte le stelle distanti non più di 17 anni luce. Entro una sfera con questo raggio, al centro della quale si trova la Terra, incontreremo, in tutto, 44 stelle.

Per dare meglio un'idea delle distanze faremo un modellino in scala, rappresentando ogni milione di chilometri con un centimetro. Partendo dalla Terra, alla distanza di 2,5 mm, troveremo la Luna e a quella di 1,5 m il Sole. A 7,78 m incontreremo il pianeta Giove e a 59 m Plutone, la cui orbita delimita i confini del sistema solare. Qui lo spazio si fa più vuoto e dobbiamo viaggiare per ben 410 km prima di incontrare Alfa del Centauro, un'altra stella, forse un altro sistema planetario. Partendo in un'altra direzione, alla distanza di 570 km, avremmo incontrato la stella di Barnard, e in un'altra direzione ancora, alla distanza di 820 km, avremmo trovato Sirio, la stella più brillante vista dalla Terra. Sparse qua e là troveremo ancora diverse stelle: la 61 Cygni a 1050 km, Procion a 1070, Altair a 1590, finché, alla distanza di 1620 km, incontreremo la stella Stein 2051 che segna, per ora, il limite del nostro viaggio. Queste sono le proporzioni delle distanze dalla Terra alle stelle vicine, quelle che, da qualche anno, l'uomo comincia a sperare non solo di conoscere sempre meglio ma addirittura di visitare. Certo il tragitto da coprire è lungo. La strada che abbiamo finora percorso da qui alla stella più vicina corrisponde a due millimetri e mezzo nel tratto da Roma a Genova e rispetto alla più lontana delle stelle vicine è come se avessimo coperto i primi due millimetri e mezzo della strada da Roma a Copenhagen. E siamo appena nella zona delle stelle più vicine, non dove finiscono ma dove incominciano gli sterminati

spazi cosmici. Bisogna riconoscere che coloro che chiamano viaggi nel cosmo le nostre attuali imprese astronomiche non sanno cosa significhi cosmo. Nessuno direbbe di aver fatto un viaggio nell'Oceano Atlantico per aver messo a bagno i piedi sulla spiaggia di Biarritz. Questo confronto non deve farci minimizzare le grandi imprese attuali, sublimi rispetto alle dimensioni dell'uomo, ma abituarci a una nuova scala nelle dimensioni spaziali, dove dovremmo veramente usare le parole e gli slogan che troppo spesso abbiamo letto sulle prime pagine di certi giornali, ancora imbevuti di una retorica d'altri tempi.

Ma torniamo alle stelle dei nostri dintorni. Delle quarantacinque stelle presenti, trentadue sono singole come il Sole, undici sono doppie e due triple. Il numero totale di stelle in questa sfera ideale del raggio di 17 anni luce è dunque di sessanta, Sole compreso. Di queste, almeno sette, oltre al Sole, possiedono compagni di piccola massa, di tipo planetario. Per avere una visione fisica migliore costruiamo il diagramma H-R per tutte queste stelle e per visualizzare meglio la situazione, rappresentiamo ogni stella con un cerchio di diametro proporzionale a quello della stella (FIG. 54). Vediamo prima di tutto che il Sole (cerchio in nero) è una delle stelle più grandi e più brillanti. Oltre ad Alfa del Centauro, che è praticamente una copia del Sole, solo altre tre stelle lo superano in diametro e splen-

dore: Sirio, Altair e Prozione. Sei delle stelle vicine sono nane bianche e moltissime altre nane rosse. Completamente assenti, invece, le giganti rosse e le supergiganti, sia rosse che blu. Se, prendendo a caso un certo volume di spazio (non si ha infatti nessuna ragione di ritenere che i nostri dintorni siano una zona con caratteristiche particolari) non abbiamo trovato stelle giganti, questo significa soltanto che sono molto rare. E se, nonostante ciò, osservando il cielo ne vediamo tante, è solo perché sono tanto luminose da essere visibili anche a grandi distanze. Quando dunque, continuando la nostra esplorazione dell'universo, incontreremo miriadi di stelle, nella massima parte lontanissime e ad alta luminosità, dovremo sempre tener presente che, sulla base delle proporzioni stabilite per le stelle vicine, oltre alle centinaia e migliaia di stelle giganti che possiamo vedere o fotografare, vi devono essere ancora milioni o miliardi di nane rosse che la loro debolezza e l'enorme distanza ci impediscono di vedere.

Il nostro primo contatto col mondo delle stelle è compiuto. Le stelle che abbiamo conosciuto ci sono apparse in una grande varietà di colori, di masse, di diametri, di densità ma possono essere considerate quasi tutte stelle normali. Si potrebbe pensare che, per avere un'idea di come è popolato lo spazio, basterebbe ora moltiplicare il numero di questi oggetti. Ma non è così. Stelle dei tipi che abbiamo conosciuto nei dintorni del Sole esistono anche in altre parti dello spazio ma oltre a esse ve ne sono altre anormali, vi sono gruppi di stelle e anche altri oggetti piccoli o immensi, oscuri o luminosi, che non sono stelle. Per conoscerli basta soltanto abbandonare gli immediati dintorni del sistema solare e avventurarsi sempre più lontano. Raggiungeremo così le loro sedi e, allungando il viaggio, finiremo con l'incontrare anche quelli più rari.

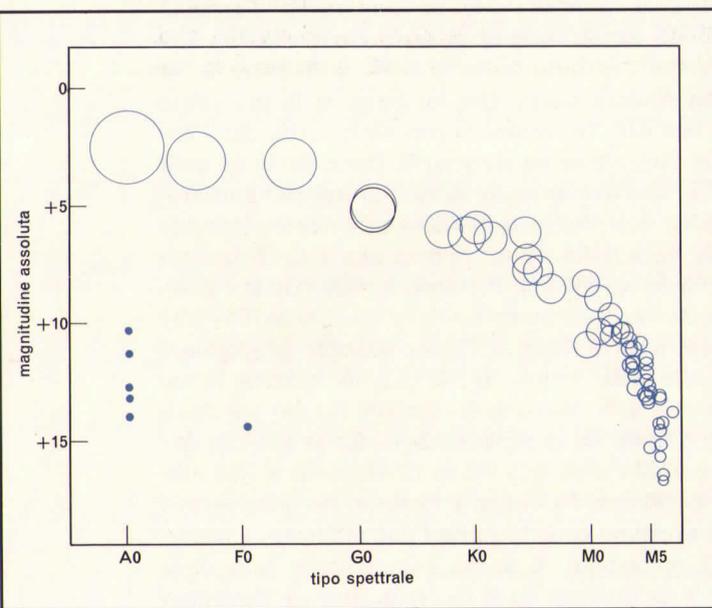


Fig.54 Il diagramma di Hertzsprung-Russell per le stelle vicine; i cerchi indicano i diametri relativi approssimati: il cerchio in nero corrisponde al Sole, l'altro cerchio, quasi sovrapposto, corrisponde a α Centauri A. I punti in colore a sinistra rappresentano le nane bianche (non in scala).