

come mai le supernovae non siano riuscite a cancellare dalla faccia della Terra la vita, che da poche tracce superstiti avrebbe poi ripreso a svilupparsi al cessare della causa distruttrice. Non solo ma, secondo Terry e Tucker, l'ipotesi delle supernovae spiegherebbe come mai l'estinzione delle specie si sia verificata contemporaneamente su tutta la Terra, mari compresi, e come mai la flora abbia risentito sempre molto meno di queste crisi che hanno decimato o cancellato intere specie animali. È significativo infine che, dal periodo cambriano, queste estinzioni in massa risultano essersi ripetute con la frequenza di una ogni 60 milioni di anni circa, pressoché coincidente con quella delle esplosioni di supernovae abbastanza vicine da fornire dosi di 500 r.

L'esplorazione nel mondo delle stelle variabili è terminata. Iniziata con la conoscenza di stelle che variano di splendore solo apparentemente, siamo giunti poi a scoprirne altre con variazioni reali e sempre maggiori, fino al punto di imbatterci in vere e proprie catastrofi stellari, nelle quali si scatena una quantità di energia tale da portare la morte fino a distanze enormi.

Forse, un giorno, vedremo comparire improvvisamente una nuova stella, brillantissima, molto più fulgida di quella che ha formato la Nebulosa del Granchio e tutti gli esseri viventi sulla Terra cadranno colpiti a morte. Non ci sarà il tempo neppure di prepararsi alla fine, poiché nel momento in cui arriverà il raggio luminoso che ci permetterà di vedere l'esplosione arriveranno anche le radiazioni mortali, che viaggiano alla stessa velocità della luce. Quando ciò accadrà la stella sarà già esplosa da decine o centinaia di anni, poiché tanti sono gli anni che impiega la radiazione, alla velocità di 300 000 km/s, a superare l'enorme distanza che ci separa da essa. Durante quegli anni nessuno saprà nulla e tutti continueranno a vivere svolgendo tranquillamente le loro attività e ignorando che la fine dell'intera specie si sta avvicinando. Forse sta accadendo fin da ora a noi stessi: stiamo parlando di quegli anni proiettandoli in un futuro remoto e il raggio mortale che dovrà distruggere l'umanità è già partito.

## V

*Dove nascono le stelle*

## LE NEBULOSE

Dopo aver assistito ai fantasmagorici spettacoli delle stelle doppie e alle catastrofi delle novae e delle supernovae, il nostro viaggio prosegue ora verso altre mete, alla ricerca di nuovi orizzonti per la conoscenza e di nuovi spazi per la fantasia. Il prossimo traguardo è la costellazione di Orione, una delle più antiche e delle più belle di tutto il cielo. Un telescopio, anche modesto, è sufficiente a offrire una suggestiva visione della zona in cui ci fermeremo: una nebulosa luminosa, nota agli astronomi con la denominazione di M 42<sup>1</sup>.

Avevamo già incontrato una nebulosa: la Nebulosa del Granchio, residuo dell'esplosione di una supernova. Questa, però, è enormemente più grande, più luminosa e di struttura radicalmente diversa, e ciò dimostra che appartiene a una categoria di oggetti completamente diversi dalla Nebulosa del Granchio. La parte più brillante si sviluppa nei pressi della stella  $\theta$  Orionis che, osservata con telescopi sufficientemente potenti, si scinde in due gruppi di stelle bianco-azzurre, il più numeroso dei quali forma una stella sestupla, le cui componenti principali sono disposte secondo i vertici di un trapezio. Le zone più deboli della nebulosa sono visibili solo attraverso strumenti ad alta luminosità o su fotografie ottenute con lunghe pose. In un telescopio di grandi dimensioni (cioè di diametro superiore a un metro) la zona offre una visione indimenticabile: intorno al gruppo delle stelle  $\theta$ , scintillanti come brillanti, si stendono veli luminosi

<sup>1</sup> Questa sigla deriva dal fatto che è il 42° oggetto del catalogo compilato nel XVIII secolo da Messier, comprendente, in pratica, i più begli oggetti celesti. Per ulteriori particolari, si veda l'appendice III a pag. 316.

verdastri di varia intensità, alternati a zone oscure che contribuiscono a dare all'insieme forma e volume. Lo spettatore ammirato tende a trattenere il respiro, come nel timore che quei tenui veli possano scompigliarsi e dissolversi da un momento all'altro, ma la nebulosa rimane la stessa anche con il passar degli anni: immutabile pur nella sua evanescenza. Su-



Fig.71 La grande nebulosa di Orione in una fotografia a lunga posa che permette di scorgere le zone più esterne. La parte centrale è risultata sovraesposta, cosicché non si possono vedere né la struttura della nebulosa né la stella multipla  $\theta$  Orionis (*Mount Wilson and Palomar Observatories*).

bentra allora il desiderio di saperne qualcosa di più: cos'è, di che cosa è composta e se vi sono o no altri oggetti che le somigliano.

La Nebulosa di Orione (FIG. 71) è un'enorme massa di gas, molto distante da noi e talmente estesa che la luce stessa, alla velocità di 300 000 km/s, impiega circa 30 anni a percorrerla da un estremo all'altro. L'analisi spet-



Fig.72 La Rosette Nebula nella costellazione dell'Unicorno, dalla forma che assomiglia a quella di un brillante tagliato a rosetta, un complesso di gas e polveri racchiudente nella zona centrale un ammasso di stelle blu brillantissime, fotografata con il grande telescopio Schmidt (*Mount Wilson and Palomar Obs.*).

troscopica ha mostrato che il gas è composto dagli stessi elementi che abbondano sulla Terra o sulle stelle, cioè: idrogeno, elio, carbonio, azoto, ossigeno, ecc. Sono presenti anche elementi più pesanti come il potassio, il calcio, lo zolfo, il ferro, che però, a causa delle particolari condizioni fisiche della nebulosa, si trovano allo stato ionizzato e si manifestano



Fig.73 Esempio di una nebulosa sia a riflessione sia a eccitazione: M 20 nella costellazione del Sagittario, detta anche Trifida dalla struttura della parte in basso. Quest'ultima è eccitata da un sistema di stelle multiple simile a quello di  $\theta$  Orionis ed emette soprattutto in corrispondenza della riga rossa  $H\alpha$  dell'idrogeno. La parte superiore riflette la luce della stella bluastrea che ne occupa il centro (foto B. J. Bok).

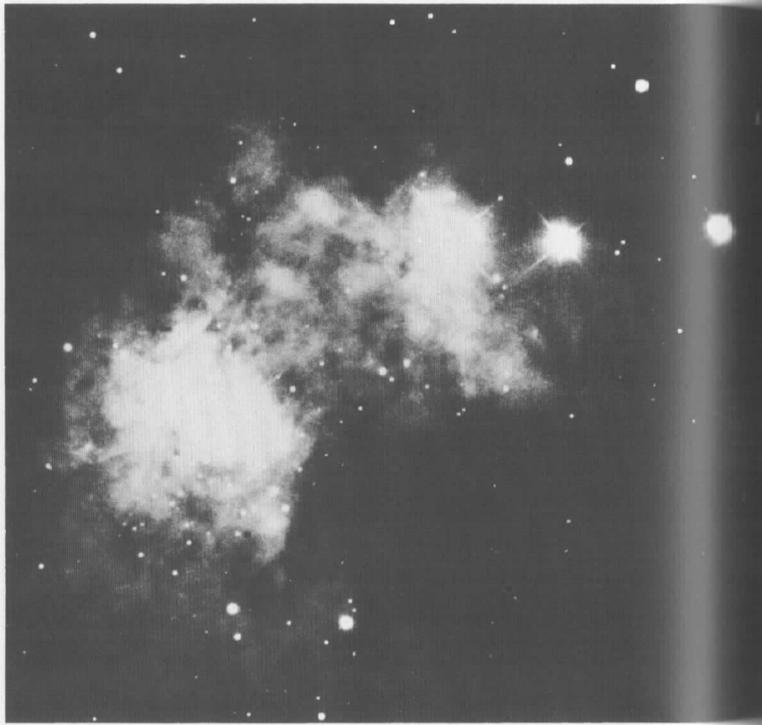
perciò nel suo spettro soltanto attraverso le cosiddette 'righe proibite'. Oltre a quella di Orione sono note centinaia di altre nebulose (FIGG. 72 e 73), in gran parte più lontane o meno vistose ma aventi tutte, più o meno, la stessa composizione. I gas che le formano non sono luminosi di per sé stessi, ma vengono resi tali da una o più stelle situate nelle immediate vicinanze che li illuminano direttamente o li eccitano, provocando fenomeni di fluorescenza analoghi a quelli che si svolgono nei nostri tubi per illuminazione.

I due casi sono facilmente distinguibili. Quando una nebulosa viene illuminata da una stella, la sua luce ha lo stesso colore della stella illuminante e gli spettri della nebulosa e della stella sono uguali. Quando emette luce per fluorescenza, l'emissione avviene soltanto in corrispondenza di determinate righe (per esempio l' $H\alpha$  e l' $H\beta$  dell'idrogeno, le righe dell'ossigeno ionizzato una o due volte, ecc.). In tal caso, dato che l'emissione predominante è quella in corrispondenza della riga  $H\alpha$  dell'idrogeno, la nebulosa appare rossa. Se poi nelle diverse regioni viene emessa luce in corrispondenza di righe diverse, la nebulosa apparirà di colori diversi nelle varie zone. Un esempio del primo caso è offerto dalle nebulose azzurre che avvolgono le stelle blu delle Pleiadi, uno del terzo dalla nebulosa di Orione, mentre la maggioranza delle altre nebulose appaiono del secondo tipo, cioè rosse.

Queste differenze tra i vari tipi di nebulose sono dovute essenzialmente alla diversità delle stelle che le mostrano. Infatti, quando nelle vicinanze della nebulosa è presente una stella ad alta temperatura capace di eccitarla, quest'ultima appare del tipo a fluorescenza; se, invece, la stella è a bassa temperatura e la luce che emette ha poca energia, si limiterà a illuminare la nebulosa che apparirà a riflessione. Naturalmente il caso della riflessione si verificherà anche quando la nebulosa è composta non solo da gas ma anche da pulviscolo. Una simile composizione è comunissima e anzi è tipica di tutte le nebulose diffuse come quella di Orione (il pulviscolo è assente, invece, in altre nebulose, per esempio, nei residui delle novae e delle supernovae). È spontaneo chiedersi allora che cosa accade quando i gas e le polveri di una nebulosa non sono illuminati da alcuna stella. La risposta è semplice: in tal caso appaiono come zone oscure proiettate sullo sfondo del cielo stellato o su altre nebulose.

Un bellissimo esempio è offerto dalla cosiddetta Testa di Cavallo, una nebulosa scura, sempre nella costellazione di Orione, appena a nord della zona nella quale ci siamo fermati. Naturalmente il maggiore o minor grado di opacità di una nebulosa oscura dipende dalla sua profondità, vale a dire dalla sua estensione nel senso della nostra visuale e dalla densità.

Per le nebulose luminose, dal rapporto di intensità di alcune righe significative osservate nei loro spettri, la densità è stata ricavata abbastanza



agevolmente. È risultata sempre estremamente bassa. Nelle regioni più dense della nebulosa di Orione non sono presenti più di 15 000 atomi per centimetro cubo; è un valore inconcepibilmente basso se si pensa al numero di molecole contenute in un centimetro cubo della nostra atmosfera (27 miliardi di miliardi). La densità è tuttavia notevolmente superiore a quella dello spazio interstellare, in cui si trova appena un atomo per centimetro cubo. Dal valore ricavato per la densità, assumendo come peso atomico quello medio degli elementi che formano la nebulosa presi nella percentuale con cui figurano, si trova che un kilometro cubo di essa pesa non più di 3 centesimi di milligrammo e che un volume corrispondente a quello del nostro pianeta racchiude una massa non superiore alle 3 tonnellate. Se tuttavia si tiene conto anche della materia oscura presente e, soprattutto, dell'enorme volume abbracciato dalla nebulosa, si trova che la sua massa totale deve ammontare a parecchie centinaia di volte quella del Sole. Ciò significa che, concentrando quella massa di gas e polveri in agglomerati minori, potremmo formare centinaia di stelle.



**Fig.74** Qui e nella pagina a fronte la zona centrale di M 42 in Orione, fotografata all'osservatorio di Lick con corta esposizione e maggior ingrandimento della Fig. 71, in modo da mostrare la struttura interna della nebulosa. L'immagine qui accanto corrisponde all'emissione nella riga rossa H $\alpha$  dell'idrogeno; quella della pagina a fronte allo spettro continuo. Soprattutto in questa s'incominciano a vedere le numerose stelle che si affollano nella zona centrale, risultate in gran parte di splendore variabile (per cortesia di K. Wurm).

La nebulosa M 42 rappresenta soltanto la parte più vistosa delle meraviglie di Orione e, in un certo senso, appena il punto di partenza verso scoperte sempre più affascinanti. Fotografando la regione in radiazione infrarossa la nebulosa appare molto meno intensa ed è possibile scorgere, immerse in essa, moltissime stelle, in gran parte deboli, concentrate soprattutto intorno alla stella  $\theta$  (FIG. 74).

Fotografie sistematiche di queste stelle, confrontate tra loro a distanza di tempo, hanno dimostrato che sono in gran parte variabili. Tuttavia il loro splendore non varia regolarmente come quello delle cefeidi o delle binarie a eclisse. Le variazioni si verificano in modo estremamente irregolare: periodi in cui lo splendore è pressoché costante si alternano a epoche di grande irrequietezza, in cui la stella percorre praticamente l'intero intervallo della variazione anche da un giorno all'altro, e ad altre, di semistazionarietà, in cui si notano solo piccole fluttuazioni (FIG. 75). L'intervallo di variazione è generalmente di 1 magnitudine; solo poche stelle raggiungono o superano le 2 magnitudini. La causa, per ora, è sconosciuta.



Fig. 75 Curva di luce della stella T Orionis secondo le osservazioni di G. B. Lacchini.

In ascissa sono riportati gli anni, in ordinata le magnitudini apparenti comprese tra 10 e 12.

Ma non basta. L'assiduo controllo della regione ha permesso di scoprire, oltre a queste enigmatiche variabili, altre stelle ancor più sconcertanti e non meno misteriose. Però, prima di parlare di queste scoperte, dovremo allontanarci un momento da Orione e ritornare nella zona delle stelle vicine a noi, per esaminare un altro stranissimo tipo di stelle variabili.

#### STELLE GUIZZANTI

La storia di queste variabili iniziò nella notte dell'11 maggio 1939, quando l'astronomo A. van Maanen, dell'osservatorio del Mount Wilson, fotografando una stellina nella costellazione dell'Orsa Maggiore, notava, su due lastre ottenute a soli 36 minuti di distanza l'una dall'altra, un notevole cambiamento di splendore. Benché si conoscessero centinaia di stelle variabili, nessuna, neppure le cosiddette stelle novae, presentava, per quanto

si sapeva, aumenti di splendore capaci di svolgersi nel giro di poche ore. Il fenomeno fu quindi accolto con incredulità e freddezza e benché Van Maanen avesse compiuto, nel frattempo, un'altra scoperta del genere, venne rapidamente dimenticato.

Generalmente, l'uomo dimentica volentieri tutto ciò che non riesce a inquadrare nell'ordine delle cose da lui precedentemente costituito. Ma, presto o tardi, i fatti tornano a bussare alle palpebre chiuse e la realtà torna a fraporsi tra l'uomo e i suoi progetti, finché questi non si sia deciso, se non a spiegarla, perlomeno ad accoglierla.

Così avvenne anche in questo caso. Il 7 dicembre 1948 un astronomo dell'osservatorio di Tucson, nell'intento di determinare la distanza della stella L 726-8, da poco scoperta da Luyten, effettuò cinque pose consecutive, sulla medesima lastra e con la stessa esposizione. Con grande stupore si notò che le cinque immagini non erano identiche, come avrebbero dovuto essere, e che la stella aveva variato nel corso dell'osservazione di almeno 2,7 magnitudini. Dunque il fenomeno annunciato da Van Maanen non solo era vero, ma avveniva con estrema rapidità. Nel caso della L 726-8 si trovò che la stella era diventata dodici volte più luminosa in poco più di tre minuti! Questa stella è una nostra vecchia conoscenza, essendo proprio quella doppia che è risultata avere la più piccola massa conosciuta. Da allora non è più nota con la sigla numerica di Luyten ma con il suo nome di variabile, UV Ceti, ed è divenuta, anzi, il prototipo di questa nuova classe di variabili.

In seguito sono state scoperte una trentina di variabili di questo tipo, sparse per tutto il cielo. Una di queste è la Proxima Centauri, altra stella da noi già incontrata.

I guizzi di luce vennero chiamati flare dagli anglosassoni e così sono indicati oggi, praticamente in tutto il mondo (FIG. 76). Il loro studio approfondito ha confermato che l'aumento di splendore (che può giungere fino a 5 magnitudini) è sempre estremamente rapido, cioè dell'ordine di gran-

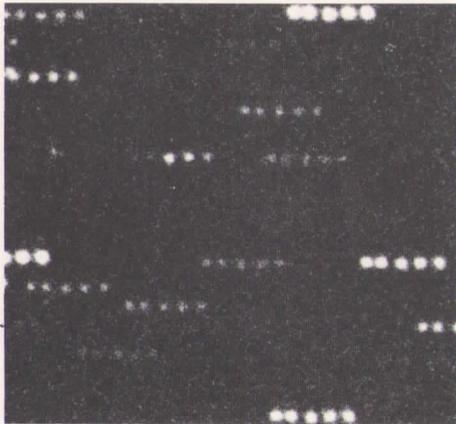


Fig. 76 Un flare stellare colto all'osservatorio di Asiago con la tecnica delle fotografie multiple consecutive. Per cercare e osservare le variabili di questo tipo, un campo stellare nel quale si ha ragione di ritenere che siano presenti variabili a flare viene fotografato ripetutamente con la stessa posa. Così tutte le stelle lasciano un certo numero d'immagini uguali (in questo caso cinque) tranne la variabile che in una o più si mostra più brillante. Qui la variabile è al centro: nelle prime due pose era invisibile, durante la terza è salita al massimo ed è quindi diminuita nella quarta e nella quinta (L. Rosino).

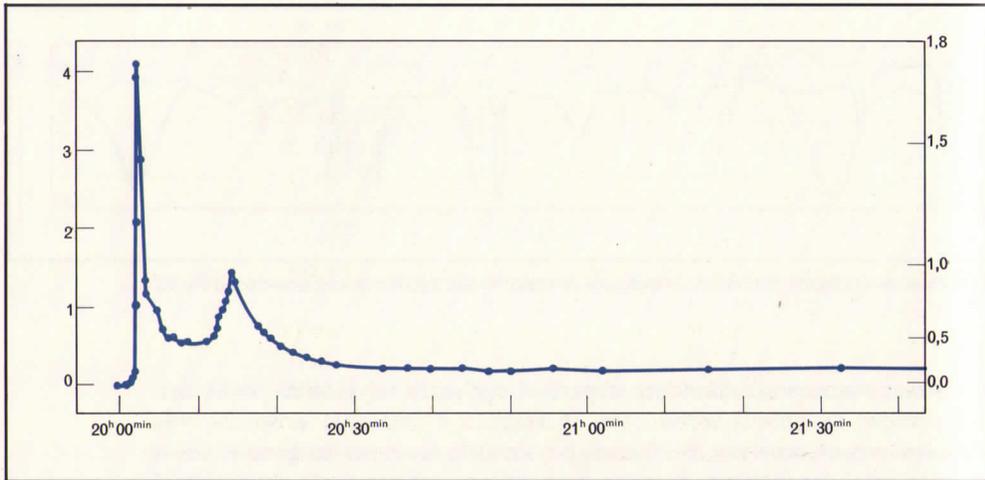


Fig. 77 Flare osservati nella stella AD Leonis all'osservatorio astrofisico di Crimea il 18 maggio 1965. In ascisse il tempo di osservazione, in ordinata, nella scala di destra, la magnitudine, in quella di sinistra l'intensità. In meno di mezz'ora la stella mostrò due guizzi: uno più intenso e rapidissimo e un secondo meno ampio e più lento. L'evoluzione del fenomeno fu seguita anche con metodi spettroscopici.

dezza di 0,2 magnitudini al secondo. La stessa stella può mostrare dei flare di ampiezza più o meno grande; studiando la loro frequenza si trova che il fenomeno si ripete ogni trenta ore circa e che i flare di ampiezza maggiore sono anche i più rari.

Riassumendo, il comportamento di queste stelle è, più o meno, il seguente: normalmente sono al minimo e non variano di splendore, almeno in misura notevole; a intervalli di alcune decine di ore, il loro splendore aumenta rapidamente, da appena quattro-cinque volte, fino a cento volte quello iniziale, poi decresce lentamente e nel giro di qualche decina di minuti la stella torna alla normalità. Naturalmente questo schema non viene seguito rigorosamente. A volte l'intervallo tra due flare successivi è di poche ore; il guizzo può essere multiplo; la discesa o la salita discontinue (FIG. 77). Una caratteristica, però, è sempre comune: la rapida salita al massimo.

Quale sia il meccanismo che provoca questo fenomeno è ancora un mistero e, d'altronde, non si sa neanche se esso interessi tutta la stella o solo una zona particolare della sua superficie, poiché non c'è stella tanto grande e tanto vicina a noi da mostrarsi come un disco nel campo di un nostro telescopio, neanche del più grande del mondo.

È stata però scoperta recentemente una caratteristica interessante. I flare sono intensissimi in luce ultravioletta (FIG. 78), più deboli in luce blu e appena visibili in corrispondenza della luce gialla, alla quale è più

sensibile il nostro occhio; nel rosso e nell'infrarosso non sembrano verificarsi affatto. Lo studio di questo comportamento sarà forse una buona pista per chiarire il mistero di tutto il meccanismo.

Ma si può cercare di far luce anche affrontando il problema da altri punti di vista, per esempio cercando di scoprire che tipi di stelle sono queste variabili a flare. È risultato che sono tutte stelle di debole magnitudine assoluta (da 8 a 17) e presentano tutte spettri dei tipi avanzati (K e, soprattutto, M). In altri termini si tratta di nane rosse. Una caratteristica comune agli spettri di tutte è la presenza della riga rossa  $H\alpha$  dell'idrogeno, in emissione.

Come sarebbe strano abitare un pianeta che si muovesse (alla stessa distanza della Terra dal Sole) intorno a una di queste stelle! Al posto del Sole avremmo un corpo rosso cupo, poco più luminoso della Luna piena, che ogni tanto emetterebbe intensi guizzi blu. Forse il nostro occhio, abituato alla luce rossa, sarebbe divenuto particolarmente sensibile al rosso (come qui sulla Terra ha sviluppato la massima sensibilità per la luce gialla, che è quella solare) e non vedrebbe affatto i lampi blu. Tuttavia la radiazione blu e ultravioletta emessa dalla stella durante i flare potrebbe influire notevolmente su molti oggetti e sul paesaggio che, di quando in

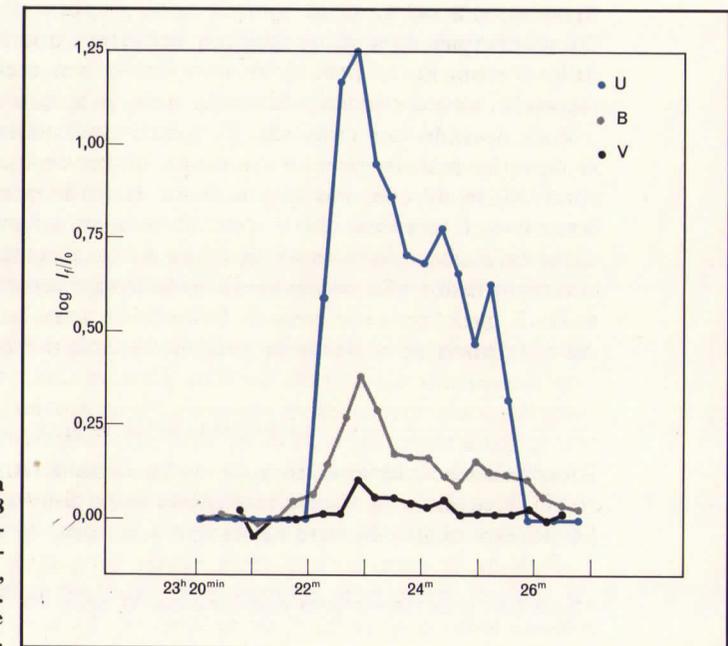


Fig. 78 Flare della stella EV Lacertae osservato il 18 agosto 1968 dall'osservatorio di Catania, simultaneamente nell'ultravioletto (U), nel blu (B) e nel giallo (V). Si noti la grande variazione di ampiezza nei vari colori.

quando, senza nessuna causa apparente, verrebbe a cambiare aspetto e colore.

Ma è ora di ritornare verso Orione, dove ci attende una grossa sorpresa. Abbiamo detto che fino a ora sono state scoperte solo una trentina di variabili a flare sparse per il cielo. Ebbene, la zona della nebulosa di Orione, invece, è piena di variabili a flare.

Le prime tre furono trovate nel 1952. Da allora il loro numero è andato rapidamente aumentando con la potenza dei telescopi usati e con l'aumentare del numero delle ore di osservazione. Così dalle 3 variabili a flare note nel 1952, si passava a 18 nel 1958, a 42 nel 1963, a 254 alla fine del 1969 e si giungeva infine a oltre 300 all'inizio del 1972<sup>1</sup>. Le curve di luce di queste variabili sono generalmente del tutto simili a quelle delle UV Ceti isolate: normalmente al minimo, con rapide e improvvise salite al massimo, seguite da un più lento ritorno allo splendore primitivo. Tuttavia si conoscono anche alcuni casi in cui la stella è anche una variabile irregolare del tipo precedentemente ricordato e i flare si innestano sulla variazione più lenta già in corso. Le variabili rapide associate all'M 42, inoltre, si mostrano complessivamente di tipo spettrale meno avanzato delle altre e di grandezza assoluta più elevata. È tuttavia quasi certo che sia le une che le altre costituiscono un'unica classe di oggetti. La possibile interpretazione del fatto che alcune sono isolate e altre concentrate nella zona di Orione, come vedremo tra poco, anche in altri gruppi, sarà data tra breve, quando scopriremo cosa rappresentano realmente queste stelle nell'economia dell'universo. Prima però dobbiamo fare la conoscenza con una terza categoria di stelle, presenti nella zona della nebulosa di Orione.

Poco fa abbiamo visto che gli spettri delle variabili a flare mostrano la riga  $H\alpha$  dell'idrogeno in emissione. Ebbene vi sono molte stelle nella zona dell'M 42 che, pur non essendo variabili, presentano questo stesso fenomeno. È possibile che si tratti di variabili a flare non ancora scoperte come tali, cioè osservate sempre, fino a ora, al minimo. Ma non è escluso che si tratti di stelle non variabili. Una cosa è certa: che la percentuale di stelle di quel tipo nella zona di Orione è di gran lunga superiore a quella delle stelle aventi la stessa caratteristica sparse per il resto del cielo.

#### LA FUCINA DELLE STELLE

Ricapitolando, abbiamo trovato un'immensa nebulosa, centinaia di variabili irregolari o a flare e moltissime stelle con la riga  $H\alpha$  in emissione. Le stelle normali osservate nel campo sono dunque un'esigua minoranza e

<sup>1</sup> Quasi tutte sono state scoperte dagli astronomi G. Haro e L. Rosino, rispettivamente nel Messico e in Italia.

in gran parte, forse, le vediamo in quella zona solo per ragioni prospettiche.

Secondo l'astronomo russo V. A. Ambartsumian questi tre gruppi di stelle costituiscono un unico insieme, legato fisicamente, che egli chiama un'associazione T. Similmente Ambartsumian aveva chiamato associazioni O i gruppi di stelle dei tipi spettrali O e B, come quello formato da  $\delta$  Orionis e dalle diverse altre stelle dello stesso tipo spettrale sparse per la nebulosa. Associazioni O e T sono state scoperte in diverse parti del cielo. Le associazioni O possono essere visibili più facilmente anche a grandi distanze, essendo composte da stelle intrinsecamente più brillanti, quelle T solo se non sono troppo distanti. Si è trovato inoltre che ogni associazione T è sempre unita a un'associazione O mentre non accade il contrario. È possibile che questo effetto sia dovuto alla grande distanza che non ci permette di scoprire la debole associazione T in quei casi in cui l'associazione O, più brillante, è ancora visibile. Nella zona della nebulosa di Orione, comunque, sono presenti un'associazione O e un'associazione T, composte dalle stelle che abbiamo studiato ora.

È fondamentale ricordare, a questo punto, che diversi astrofisici hanno dimostrato, già da tempo, che nessun gruppo di stelle è stabile, poiché le singole componenti tendono ad allontanarsi le une dalle altre, disperdendosi nello spazio, tanto più rapidamente quanto minore è il numero delle stelle componenti il gruppo. I calcoli mostrano che il processo è irreversibile, cioè un gruppo di stelle esistente si deve sfasciare ma non può mai accadere che stelle sparse si riuniscano per formare gruppi che prima non esistevano. In particolare, un'associazione come quella di Orione deve essere completamente dispersa nel giro di circa 10 milioni di anni. Dunque le stelle che compongono l'associazione di Orione devono essere nate proprio in quella zona dello spazio e da un tempo inferiore a 10 milioni di anni. Se teniamo presente che il Sole è nato da almeno quattro miliardi di anni, concludiamo immediatamente che le stelle di Orione che stiamo osservando sono giovanissime, forse, anzi, che stanno addirittura nascendo. Questo risultato è talmente sensazionale che stentiamo a crederlo e sentiamo il bisogno di altre prove. E le prove ci sono.

Le moderne teorie sull'evoluzione stellare affermano che, prima che la temperatura interna di una stella sia sufficientemente alta da permettere l'innescamento delle reazioni termonucleari, la stella sviluppa energia contraendosi, cioè che l'energia viene prodotta dalla caduta del materiale più esterno verso l'interno, sotto l'azione della forza di gravità. Questa fase è tanto più breve quanto maggiore è la massa della stella.

Ritorniamo adesso al diagramma di Hertzsprung-Russell. La teoria dell'evoluzione stellare ci dice che quella parte che avevamo chiamato sequenza principale rappresenta, oltre al luogo del diagramma in cui la stella è stabile e rimane quindi per un tempo lunghissimo, anche la co-

siddetta 'linea di età zero', cioè il luogo dei punti in cui iniziano le reazioni termonucleari. Le stelle ancora in fase di contrazione gravitazionale, cioè che non hanno ancora finito di restringersi, si troveranno al di sopra di essa poiché, a parità di temperatura, cioè di tipo spettrale, sono più luminose essendo di maggior diametro. Il tempo di permanenza in questa fase va dai 4 milioni di anni per le stelle di tipo A, che hanno grandi masse, ai 700 milioni di anni per quelle di tipo M. Così, ammettendo che le stelle dei diversi tipi spettrali (cioè delle diverse masse) nascano simultaneamente e in ugual numero, il diagramma H-R dovrà mostrare uno sparpagliamento

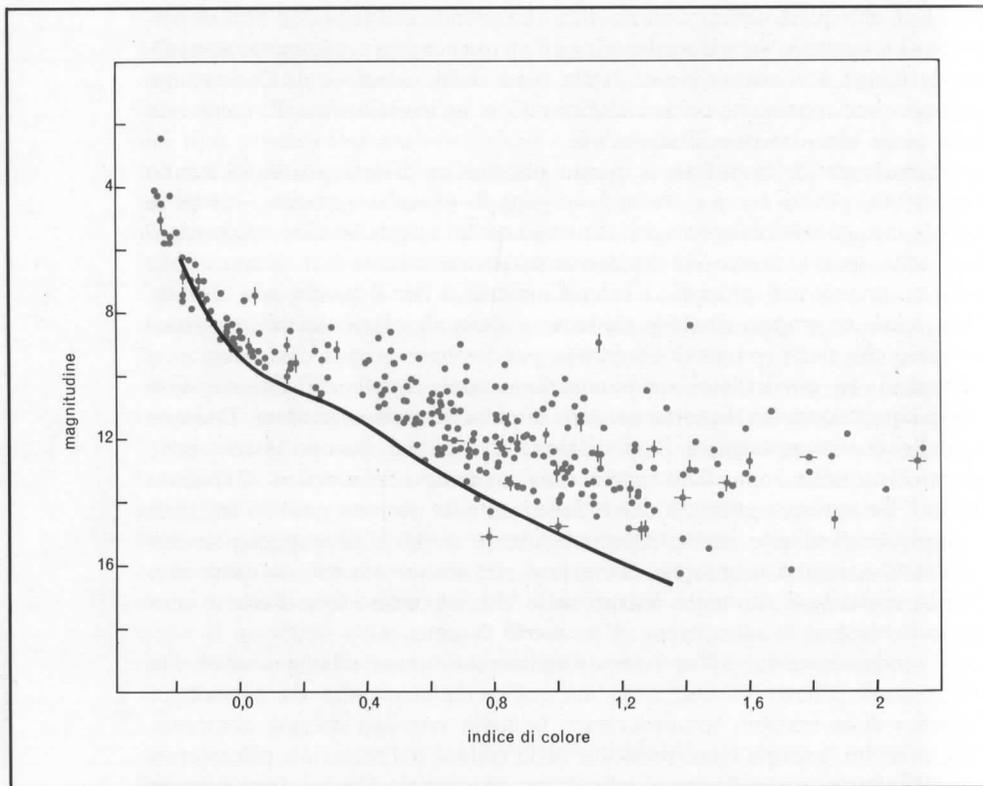


Fig.79 La sequenza principale del diagramma H-R costruita per punti da M. F. Walker con le stelle dell'associazione di Orione. In nero è rappresentata la linea di età zero. La maggior parte dei punti rappresentativi si trova al di sopra di questa, indicando che le stelle corrispondenti non hanno ancora ultimato la fase di contrazione gravitazionale che precede l'innesco delle prime reazioni termonucleari. L'effetto è tanto più vistoso quanto più ci si sposta verso destra, dove sono le stelle rosse con masse inferiori a quella del Sole, mostrando che più le stelle cadono a destra nel diagramma più è lenta la loro evoluzione.

verso i tipi spettrali più avanzati poiché, dopo un certo tempo, le stelle A avranno già raggiunto la linea di età zero, le F e le G saranno ancora a una certa distanza e le M si saranno mosse solo impercettibilmente dal punto in cui erano inizialmente. Naturalmente l'effetto dovrebbe osservarsi anche se le nascite non fossero state assolutamente simultanee, purché le stelle di piccola massa non siano nate tanto tempo prima delle B e A da aver già raggiunto la linea di età zero al momento della formazione di queste ultime.

Ebbene, il diagramma H-R delle stelle dell'associazione di Orione mo-

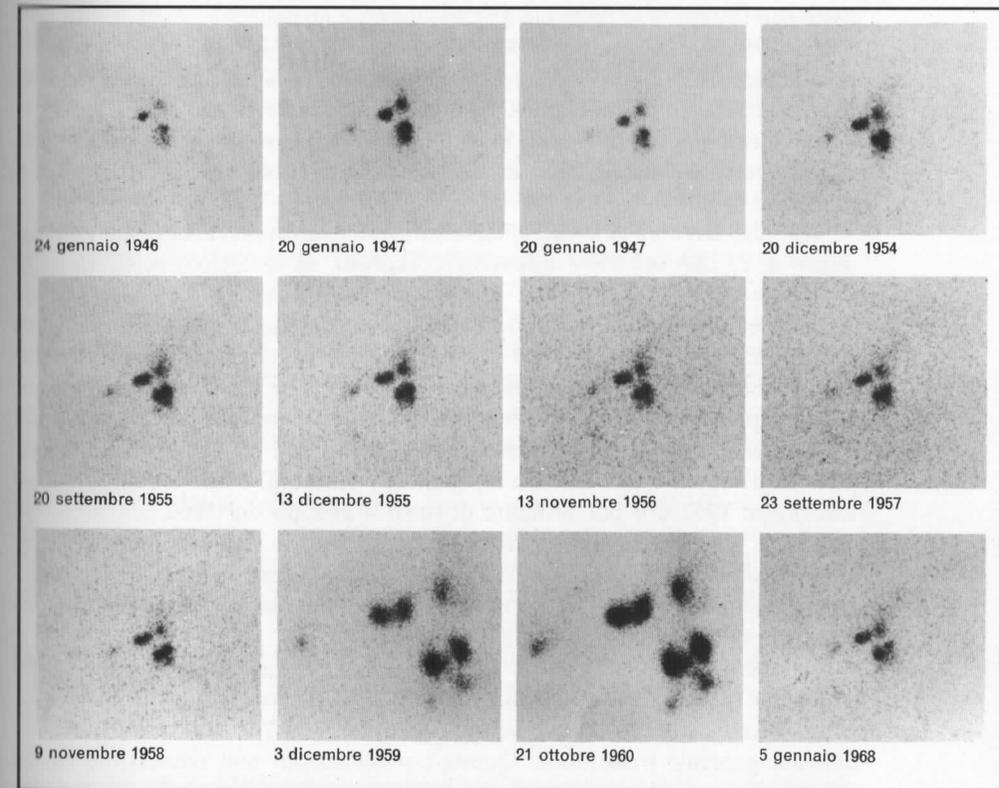


Fig.80 L'oggetto Herbig-Haro n. 2 fotografato in varie epoche. Questa eccezionale serie di fotografie documenta forse la nascita di due stelle: i due nuclei a sinistra, che sono visibili nella fotografia del 20 dicembre 1954 e sono invece assenti in quella del 20 gennaio 1947 e nelle precedenti. Per poter mostrare meglio i particolari, queste fotografie sono state riprodotte a forte ingrandimento e in negativo. La penultima e la terzultima immagine sono state ottenute con un telescopio del diametro di 3 m, tutte le altre con uno di 90 cm, entrambi appartenenti all'osservatorio di Lick, negli USA (foto G. H. Herbig).

stra proprio questa distribuzione a ventaglio prevista dalla teoria (FIG. 79). L'effetto fu osservato per la prima volta da P. Parenago nel 1954 ed è stato confermato da M. F. Walker nel 1969, mediante osservazioni ancora più precise.

Lo studio dell'evoluzione stellare ci conferma dunque che le stelle di Orione sono giovani. Se l'associazione di Orione non è altro che un gruppo di stelle nelle primissime fasi dell'evoluzione, si potrebbero trovare in essa anche stelle tuttora in formazione e materia in procinto di diventare stelle. Scoprendo e osservando questi corpi si potrebbe dunque assistere addirittura alla nascita delle stelle. Quest'ardita ricerca sembrò coronata da successo qualche anno fa e, nonostante alcune osservazioni sfavorevoli successive, è tuttora una delle più appassionanti e attuali.

Nel 1951 G. H. Herbig e G. Haro trovarono, indipendentemente, tre strani oggetti. Si trattava di piccole nebulose con nuclei di aspetto stellare, situate appena al di fuori della grande nebulosa che avvolge tutta la zona. Questi strani oggetti non sono i soli e oggi se ne conoscono una quarantina, con le stesse caratteristiche, in Orione e in altre associazioni (nel Toro, in Perseo, ecc.).

Nel 1955 Herbig annunciò un evento sensazionale. L'oggetto Herbig-Haro n. 2, che nel 1947 appariva composto da quattro nuclei, in altre fotografie del 1954, ottenute con lo stesso telescopio dell'osservatorio di Lick, ne mostrava sei. Due nuovi nuclei erano dunque apparsi nel corso di quei sette anni. Il controllo di tutte le osservazioni disponibili dal 1946 al 1968 ha permesso recentemente di precisare che i due oggetti raggiunsero lo splendore attuale rispettivamente tra l'inizio del 1950 e la fine del 1952 e tra la fine del 1952 e quella del 1953 (FIG. 80). I quattro nuclei principali (i due nuovi e due dei vecchi) risultano variabili, e anzi quello apparso intorno al 1952 è il più brillante di tutto il gruppo dal 1966.

Questa scoperta fu molto discussa. Molti furono dell'opinione che avevamo assistito alla nascita di due stelle e moltissimi, in ogni caso, accettarono favorevolmente l'idea di Ambartsumian che si trattasse di stelle nelle primissime fasi della loro evoluzione.

Nel 1960, però, Haro ed R. L. Minkowski, fotografando questi oggetti con il più grande telescopio del mondo, li risolsero in piccole condensazioni, di magnitudine visuale compresa tra 18,4 e 21,5, immerse in una nebulosità generale irrisolvibile. Queste condensazioni non risultarono essere stelle e nessuna di esse mostrò di contenere almeno una stella. Questo risultato è in netto contrasto con quanto sappiamo sulle nebulose e, in particolare, con il fatto che esse divengono visibili solo se qualche stella le illumina o le eccita. Infatti gli oggetti Herbig-Haro mostrano uno spettro di eccitazione ma le fotografie di Haro e Minkowski affermano che non c'è stella eccitatrice. Chi dunque riesce a far risplendere questi enigmatici og-

getti? Non si sa cosa rispondere. Viene la tentazione di lasciarsi prendere la mano dalla fantascienza e ritenere che le condensazioni osservate siano eccitate, con processi sconosciuti, da una o più protostelle in esse contenute e a noi invisibili.

Giungiamo così all'ultimo capitolo di questo affascinante romanzo celeste: la ricerca di una spiegazione dei fatti osservati. Flare, fluttuazioni luminose irregolari, nebulose che non mostrano nessuna sorgente di eccitazione a esse associate, oggetti peculiari: niente di tutto questo è stato finora spiegato in modo soddisfacente. Un'ardita teoria è stata tuttavia formulata tra il 1954 e il 1957 da Ambartsumian. Secondo il geniale astrofisico russo, le stelle e le nebulose avrebbero origine entrambe da materia prestellare superdensa, in condizioni fisiche a noi sconosciute. Come questa materia si trasformi in quella del tipo noto non si sa, ma si ammette che avvenga. Ambartsumian suppone allora che frammenti di questo materiale prestellare rimangano imprigionati all'interno delle stelle di recentissima formazione. A poco a poco, essi raggiungono la superficie e si trasformano in materia ordinaria liberando, di colpo, una quantità notevole di energia non termica, in gran parte luce, che viene immediatamente osservata sotto forma di flare. Se però la stessa quantità di energia è liberata al di sotto della fotosfera, viene trasmessa all'esterno dagli strati sovrastanti, che la trasformano in energia termica. In questo caso, in altri termini, l'energia non viene irradiata direttamente nello spazio, ma serve a scaldare lo strato della stella soprastante che poi mostrerà una variazione di splendore solo come conseguenza dell'aumento della temperatura. La variazione luminosa è più modesta e più lenta e la stella appare come variabile irregolare. Naturalmente, col procedere dell'evoluzione, il materiale prestellare diminuisce rapidamente e l'evento di un frammento che giunga in prossimità della superficie diviene sempre più raro. Così, in pratica, la stella non varia più, all'infuori di rari e improvvisi guizzi, i flare. Secondo questo processo le variabili irregolari dovrebbero essere più giovani di quelle a flare. Effettivamente si trova che mentre le prime sono in gran parte situate al di sopra della sequenza principale, queste ultime l'hanno già raggiunta e sono in prossimità della linea d'età zero. Anche gli oggetti Herbig-Haro e le nebulose per le quali non si conoscono sorgenti di eccitazione potrebbero essere spiegati dalla presenza di nuclei di questo materiale.

La teoria appare suggestiva, ma ha un grave punto debole: l'introduzione della misteriosa protomateria che non obbedisce a leggi fisiche conosciute e della cui esistenza non esiste alcuna prova. Tuttavia, prima di respingere completamente la teoria di Ambartsumian, dobbiamo essere cauti e riconoscere almeno che ha il pregio di ridurre numerosi fenomeni inspiegabili a una sola causa sconosciuta. E, in fondo, è quello che fece

anche Newton quando introdusse il concetto di gravitazione universale.

Non è da escludere, quindi, che l'esistenza di questa materia potrebbe divenire uno di quei postulati fondamentali della scienza, la cui validità viene accettata solo a posteriori per la facilità con cui, ritenendoli validi, si possono spiegare un sempre maggior numero di altri fatti.

Intanto possiamo fermarci soddisfatti ad ammirare ciò di cui siamo ormai certi, che non è poco. Abbiamo scoperto che la nascita delle stelle non è un avvenimento che accadde soltanto in un lontano passato e non si verificherà mai più, ma un evento attuale che si svolge incessantemente. Alcune stelle, come il nostro Sole, si formarono miliardi di anni fa, ma altre continuano a nascere addirittura sotto i nostri occhi. Non solo, ma ora sappiamo che aspetto hanno le stelle allo stato nascente e in quali parti dello spazio hanno origine. Abbiamo scoperto addirittura le fucine dove vengono forgiate e, collegando e interpretando ciò che vedremo, un giorno capiremo certamente anche come e in quale momento esse nascano. Per poter giungere a questo punto dovremo continuare a osservare attentamente quei luoghi accessibili alla nostra indagine ma tanto distanti. Di questi vivai di stelle ne sono stati scoperti finora una cinquantina. Sono i più vicini a noi e già la loro distanza è tanto grande che solo una parte di essi può essere osservata con il massimo profitto. Una delle fucine stellari più vicine è appunto quella di Orione. Secondo le misure compiute da K. A. Strand la sua distanza è di 1950 anni luce. Questo risultato ci dice che l'associazione di Orione, pur essendo una delle più vicine, è a una distanza enorme da noi, tanto che viene a rappresentare la parte dello spazio più lontana toccata finora nel nostro viaggio.

Ci fermeremo dunque ancora un momento in quella zona, per guardarci intorno, per osservare il Sole e la Terra e orientarci nei nuovi spazi verso i quali ci inoltreremo subito dopo.

#### DUEMILA ANNI FA

Inverno 1970. Le ultime luci del tramonto romano stendono una patina rosa sulle tre colonne superstiti del tempio di Marte Ultore, nel Foro di Augusto. I tre capitelli corinzi sembrano contemplare lo sfacelo che si stende al di sotto di loro, dopo essere stati testimoni e partecipi della grandezza di un tempo. Il tempio era stato costruito da Augusto dopo la battaglia di Filippi, e all'inizio dell'era volgare, quasi duemila anni orsono, era appena terminato e appariva in tutto il suo splendore. Le tre colonne avevano numerose altre compagne e tutte insieme racchiudevano una cella dove era conservato un prezioso cimelio: la spada di Cesare. Ai suoi fianchi, più in basso, due basiliche splendevano nel candore del marmo di Luni e per gli stupendi marmi policromi che le ornavano. Le colonne

interne, di marmo giallo, limitavano i lati di due esedre sulle quali si aprivano nicchie con le statue dei capitani più illustri, da Enea ad Augusto. Tutto era ammirato da una folla rumorosa che frequentava le basiliche o che scendeva al Foro dall'adiacente, popolato quartiere della Suburra. Di tutto questo oggi restano soltanto ruderi o tracce. Intanto il tramonto svanisce e le ombre dei secoli si confondono nel buio della notte.

Qualche ora più tardi un astronomo punta il telescopio verso la costellazione di Orione per osservare M 42. Il centro del campo è dominato dalla stella multipla  $\theta$  Orionis. Intorno a essa, con splendore decrescente, si stende la nebulosa. Lentamente lo strumento segue l'oggetto e l'uomo si accinge a raccogliere, attraverso le immagini, un messaggio che era partito 1950 anni prima, quando il Foro di Augusto, appena costruito e dominato dal tempio di Marte, si mostrava nella sua integrità. A quell'epoca quel raggio di luce iniziò il suo viaggio. Allora l'impero romano era appena sorto e Cristo stava per iniziare la sua predicazione. Passarono i secoli, trionfò il cristianesimo, cadde l'impero romano, scesero i barbari a distruggere civiltà millenarie e la luce che oggi ci mostra quelle stelle continuava il suo viaggio, divorando lo spazio alla velocità di 300 000 km/s. Quando il pontefice Leone III incoronò Carlo Magno non aveva ancora raggiunto la metà del percorso. All'epoca di Dante questo punto era stato superato ma la meta era ancora lontana. Sulla Terra, Colombo scopriva l'America; Copernico, Galileo e Newton fondavano la scienza moderna; scoppiava la rivoluzione francese; splendeva e si spegneva l'astro di Napoleone, mentre il viaggio della luce partita dalle stelle di Orione continuava. Più tardi il mondo veniva funestato da due guerre e al termine della seconda scoppiavano le prime bombe atomiche. Solo qualche anno dopo il raggio di luce entrava nella zona delle stelle vicine a noi, che abbiamo già visitato, e una notte del 1970 raggiungeva l'occhio dell'uomo al quale, finalmente, mostrava avvenimenti che erano stati contemporanei di Augusto e di Cristo.

Oggi dunque vediamo in Orione non quello che accade in questo momento ma ciò che avvenne quasi duemila anni or sono. Alcune di quelle stelle potrebbero essere scomparse, altre, nuove, potrebbero essersi accese: qualunque cosa succeda là oggi, si potrà sapere sulla Terra solo tra duemila anni.

Tuttavia, in linea generale, non riteniamo che possano avvenire cambiamenti tanto radicali in un tempo, su scala cosmica, tanto breve. Ci saranno indubbiamente dei cambiamenti locali, come quelli osservati nell'oggetto Herbig-Haro n. 2, ma l'associazione nel suo complesso non può evolversi a tal punto da deviare tanto dall'aspetto attuale o, comunque, da una configurazione prevedibile.

E poi, in ogni caso, questa è una fatalità alla quale dobbiamo rassegnarci.

Dobbiamo adattarci al fatto di non poter avere una visione simultanea di tutto ciò che osserviamo. Quando guardiamo il cielo, anche se non ci sembra che tutti gli astri della volta celeste siano alla stessa distanza da noi, non abbiamo mai la sensazione immediata che ciò che vediamo non sia contemporaneo. Questa sensazione è frutto della nostra abitudine. Se, affacciandoci dalla finestra, vediamo contemporaneamente un gruppetto di ragazzi che gioca nel giardino, una donna che scuote un tappeto da una terrazza al di là della strada e un aeroplano che sta volando in lontananza, quasi all'orizzonte, pensiamo che i tre eventi si svolgano contemporaneamente, cioè tutti e tre nello stesso momento in cui li vediamo e in realtà è così. Ma ciò che, in prima approssimazione, vale per brevi distanze, non è più valido per i corpi celesti e, a causa del ritardo dovuto al tempo impiegato dalla luce per coprire il percorso, noi vediamo la Luna come era un secondo prima, il Sole otto minuti, i pianeti qualche ora, le stelle più vicine alcuni anni fa e quelle meno vicine come apparivano centinaia o migliaia di anni orsono. Siamo, insomma, nella situazione di un tale che in uno stesso giorno riceve quattro lettere ma una dalla città in cui si trova, una da una città vicina, la terza da un altro continente per via aerea e la quarta dallo stesso continente per via ordinaria: benché le lettere giungano nello stesso momento, gli portano notizie che si riferiscono a quattro date diverse e distanti l'una dall'altra.

Ma torniamo all'M 42 e lasciamo che la stessa fantasia che ci aveva trasportato in un istante su un pianeta di Alfa del Centauro ci porti in un attimo verso Orione, non all'interno dell'associazione, dove le nubi luminose, e soprattutto quelle oscure ci nasconderebbero la maggior parte dei corpi celesti meno vicini, ma un po' al di fuori, per esempio, su un pianeta di una stella distante dalla nebulosa intorno a 50 anni luce. Qui il cielo è veramente irricognoscibile. Possiamo vedere ancora molte delle stelle visibili dalla Terra, questo è vero, ma potremo riconoscerle solo dopo lunghe osservazioni: le posizioni sono cambiate, le luminosità relativamente alterate e, inoltre, il gran numero di stelle scomparse e l'altro, non meno grande, di quelle nuove, fanno sì che possiamo veramente dire di essere sotto un altro cielo. Unica zona familiare sulla quale possiamo appoggiare il nostro sguardo è la fascia della Via Lattea. Ma anche questa solo nella struttura di fondo, poiché le stelle che vi si proiettano contro e persino alcune nebulose oscure, come quella del Cigno, ora non sono più quelle che vedevamo sulla Via Lattea del cielo terrestre.

Questo nuovo cielo ci mostra una visione stupenda. La Nebulosa di Orione, meraviglioso intreccio di pallide luci verdastre, sfumanti in vari colori fino al rosso delle regioni più esterne, domina il cielo su un'estensione sessanta volte più grande della Luna piena. Al suo centro, raccolte in una strettissima zona, larga appena la metà della Luna, scintillano

fulgidissime le sei stelle principali del gruppo di  $\theta$  Orionis, con uno splendore superiore o appena inferiore a quello della stella più brillante del nostro cielo. Qua e là, per tutta la sua estensione, un gran numero di altre stelle più deboli sembra darle un palpito di vita. Tuttavia, benché così vicini, non vediamo ancora l'ammasso di stelline infrarosse scoperto sulle fotografie ottenute con i nostri telescopi. Queste stelle sono così deboli che, anche dopo esserci avvicinati di 1900 anni luce, la maggior parte di esse rimane al di sotto della magnitudine 8. In compenso vediamo altre stelle brillantissime e altre nebulose presenti nella zona, delle quali finora non avevamo parlato: la nebulosa NGC 1977, nella quale sono immerse una decina di brillantissime stelle; la zona a nord della nube oscura della Testa di Cavallo, con le nebulose NGC 2023-2024 e la stella  $\zeta$  Orionis. Tutta la zona a nord di M 42, insomma, ricca di nebulose luminose e oscure, di stelle brillanti e oggetti strani, si mostra dal nostro osservatorio in modo stupendo, in una nuova prospettiva e secondo scorci talmente diversi da quello consueto che difficilmente sapremmo riconoscere anche le zone e le stelle più familiari. A sud di Orione, invece, ci attende una delusione. Sirio, la stella che vista dalla Terra domina il cielo insieme a Orione, è scomparsa. Rimasta alle nostre spalle poco dopo l'inizio del viaggio dalla Terra a M 42, va ormai cercata nella direzione opposta a quella della nebulosa, fra le stelle più deboli, invisibili a occhio nudo. In quella stessa zona del cielo potremo trovare anche il Sole. Ormai è di magnitudine 13,5, migliaia di volte più debole delle più deboli stelle visibili a occhio nudo; è visibile solo con un buon telescopio, e anche in questo caso si confonde con tutte le altre stelline presenti nel campo.

Cercare i pianeti che lo accompagnano sarebbe un'impresa ardua. In particolare la Terra, essendo uno dei più piccoli e più vicini al Sole, è anche uno dei primi a perdersi entro i suoi raggi. Ma la stessa fantasia, che ci permette di trasferirci in un istante su un pianeta non lontano da Orione, può metterci a disposizione un telescopio capace di mostrarci la Terra in tutti i suoi particolari. Con esso vedremo il nostro pianeta con i suoi mari blu, le nubi azzurre e le bianche e nuvolose calotte delle zone polari. L'Africa prevalentemente rossiccia per i deserti, il mare Mediterraneo e la penisola italiana che sembra slanciarvisi dentro. L'immagine è del tutto simile alle suggestive fotografie ottenute dagli astronauti nei loro viaggi sulla Luna, che in questi ultimi tempi abbiamo visto più volte su quotidiani e riviste.

Forziamo l'ingrandimento e osserviamo una zona particolare, per esempio l'Italia centrale. Non stenteremo a riconoscere le tracce della vita umana, zone variamente colorate, corrispondenti alle varie colture agricole, strade o canali, come fili sottilissimi, e diversi paesi e città. Ci colpisce particolarmente una di queste, attraversata da un fiume, abbastanza estesa,

non lontana dal Mare Tirreno: Roma. Aumentiamo ancora il nostro ingrandimento per vedere di più. Stiamo guardando il centro e non crediamo ai nostri occhi. Non riusciamo a trovare né l'Altare della Patria (e non si può dire che non darebbe nell'occhio!) né la piazza e il Palazzo Venezia. Guardiamo attentamente nelle vicinanze e non riusciamo a trovare più neppure il Colosseo. Non riusciamo a capire: il fatto di esserci spostati istantaneamente nello spazio non può aver provocato la sparizione di tutto ciò che avevamo visto solo fino a poche ore prima.

In realtà nulla è sparito: ciò che cerchiamo non è ancora comparso.

Avevamo visto che l'astronomo che fotografava Orione nel 1970, in effetti registrava eventi che si erano svolti 1950 anni prima, così ora, inversamente, guardando la Terra da un pianeta a 50 anni luce di distanza da Orione, assistiamo a ciò che è accaduto già da 1900 anni. E, se guarderemo attentamente, vedremo al posto del Colosseo un laghetto, intorno al quale, dal Colle Oppio al Palatino, si stende, enorme, la Domus Aurea di Nerone e al posto dell'Altare della Patria il tempio di Giunone Moneta, fronteggiante l'altro di Giove Capitolino, il più sacro tempio, sul luogo più sacro di Roma: il Campidoglio. Così la storia di quasi duemila anni fa viene a cadere sotto i nostri occhi.

Ma c'è di più: dall'osservatorio sul quale immaginiamo di trovarci ora tutti gli ultimi due millenni di storia devono ancora svolgersi. Tra nove anni assisteremo all'eruzione del Vesuvio e alla distruzione di Ercolano e Pompei, negli anni successivi vedremo Roma in tutto il suo splendore e così, secolo per secolo, potremmo assistere a tutti gli eventi storici fino a rivedere l'infanzia dei nostri genitori e la nostra stessa infanzia. Naturalmente non potremmo vivere tanto a lungo da attendere quel momento, ma basterebbe correre incontro all'immagine, avvicinarci a grandissima velocità verso la Terra, e tutto si svolgerebbe con un ritmo accelerato, dipendente solo dalla rapidità del nostro spostamento.

Tutto questo è pura fantasia perché la fisica ci dice che non è possibile superare la velocità della luce e non possiamo trasportarci materialmente in un luogo lontano, per attendere un messaggio luminoso che è partito prima di noi. In altre parole, non possiamo raggiungere istantaneamente quel pianeta nei pressi della Nebulosa di Orione, come abbiamo fatto ora con la fantasia e come forse un giorno lontanissimo si potrà materialmente realizzare, anche se in un tempo lunghissimo. Non possiamo dunque vedere Tito o Traiano né lo splendore della Roma imperiale. È questo un privilegio degli attuali, evolutissimi abitanti di quel lontano pianeta. Naturalmente se esistono.

## VI

### *Gli ammassi*

#### GRUPPI DI STELLE

Esplorando Orione, la fotografia infrarossa ci aveva rivelato un agglomerato di deboli stelle nella zona centrale della nebulosa. L'esistenza di gruppi di stelle non è un fatto eccezionale: è possibile scoprirne moltissimi anche attraverso osservazioni normali, sia visuali sia fotografiche e anzi alcuni dei più brillanti sono ben visibili anche a occhio nudo. Il più vistoso è indubbiamente quello delle Pleiadi, ben noto a chi ha una certa familiarità col cielo stellato, citato anche dagli scrittori più antichi. Se ne parla nella Bibbia, nel Libro di Giobbe e lo ricorda Omero nell'Odissea quando dice che Ulisse, partendo dall'isola della divina Calipso, governava la sua zattera « al timone seduto, con grande maestria, volto lo sguardo... verso le Pleiadi... l'Orsa lasciando sempre a sinistra ».

La visione di questo gruppo di stelle al telescopio è eccitante. Un cannocchiale modesto, a basso ingrandimento, o addirittura un binocolo da teatro, sono sufficienti per mostrare le sei stelle principali, quelle ben visibili anche a occhio nudo, come altrettanti brillanti sorgenti dall'oscuro fondo della notte. Intorno a esse, decine di altre stelle più deboli accrescono il fulgore della zona, completando la bellezza della visione come fanno le rosette e le pietre minori di un diadema. Tutte queste stelle non formano un gruppo prospettico, né appaiono vicine per caso, ma costituiscono un insieme fisicamente associato, che gli astronomi chiamano ammasso aperto o galattico<sup>1</sup>.

Il loro legame fisico si manifesta non solo attraverso alcune somiglianze nella composizione e nella struttura, come avevamo visto nelle associa-

<sup>1</sup> Gli attributi 'aperto' e 'galattico' saranno chiariti in seguito.