

splendore del Sole, che sono un numero grandissimo: milioni, miliardi. Cercare il Sole in mezzo a esse sarebbe come cercare un particolare granello di sabbia, fino a una profondità di 10 cm, su una spiaggia larga 80 m e lunga 1 km.

È inutile! Ormai dopo la scomparsa della Terra dobbiamo rassegnarci a veder scomparire anche il Sole e tra breve, allontanandoci ancora, vedremo svanire, ingoiata dalla distanza, anche la Galassia. Ma come possono interessarci più, ormai, il Sole e le stelle della Galassia quando stiamo cominciando a contare più galassie di quante stelle vedevamo dalla Terra a occhio nudo e ci stiamo avventurando alla ricerca dei confini dell'universo?

Il mondo delle galassie. Ecco veramente l'immensità! Chi ha sete di cielo la può soddisfare innalzandosi dalla terra nell'atmosfera; chi aspira allo spazio se ne sentirà appagato già nel viaggio Terra-Luna o in un viaggio interplanetario; ma chi anela all'infinito può sentirne l'ebbrezza solo nel mondo delle galassie: là dove l'universo s'incurva, sfuggendo persino alla nostra immaginazione. Lanciarsi in mezzo alle galassie, dopo aver percorso il sistema solare e anche l'intera Galassia, è un po' come volare su tutto il mondo invece di prendere una boccata d'aria sulla porta di casa.

Ed è questo che stiamo facendo ora, viaggiando in questi spazi tanto lontani dal luogo in cui è rimasto il nostro corpo da non ritrovare più neppure la Galassia: abbiamo cominciato con l'affacciarci sul cosmo e ora vi stiamo penetrando, quasi secondo una nuova dimensione, e ci stiamo disperdendo in esso.

IX

Tra le galassie

Se qualcuno dei nostri compagni di viaggio, affrontando per la prima volta lo spazio extragalattico, è rimasto impressionato dal mondo delle galassie e ha provato le vertigini affacciandosi finalmente sull'immensità del cosmo, a questo punto lo consigliamo di fermarsi. In queste condizioni, infatti, molto difficilmente potrebbe comprendere a pieno le nuove meraviglie che stiamo per conoscere ed esultare di fronte alla visione che ci attende, come non può godere il panorama dalla vetta colui che durante l'ascensione è colpito dal mal di montagna. Ma se, non volendosi contentare di quanto ha scoperto sin qui, vorrà proseguire, sarà bene almeno che sostenga un poco per assuefarsi, perché l'ultima tappa del viaggio, quella che stiamo adesso per affrontare, sta per offrirci visioni ancora più impressionanti.

Mai occhio umano ha potuto scorgere qualcosa di più grande di ciò che stiamo per scorgere. Mai la fantasia aveva osato concepire oggetti e fenomeni come quelli che stiamo per scoprire. E tutto ciò è continuamente intorno a noi e se avessimo una vista più penetrante potremmo scorgerlo tutte le sere al di sopra delle nostre teste.

Anzi, dato che da ora sarebbe praticamente impossibile seguire ancora un itinerario, ci fermeremo in un punto qualsiasi dello spazio già visitato: sulla galassia di Andromeda o isolati nel vuoto, o addirittura sul nostro pianeta, poiché tanto sterminati sono gli spazi che stiamo per scandagliare che osservarli da qui o da M 31 sarebbe la stessa cosa, e da questa base continueremo la nostra esplorazione fino ai limiti estremi dei nostri strumenti e del nostro pensiero.

Naturalmente continueremo a occuparci solo di ciò che è più significativo, lasciando alla fantasia il compito di fornirci una visione generale,

moltiplicando opportunamente quegli oggetti e quei fenomeni dei quali, in un primo momento, avremo conosciuto solo i campioni.

EVENTI ECCEZIONALI

Un campione veramente eccezionale è quello che affronteremo per primo: M 87 (FIG. 107). Si tratta di una galassia ellittica di tipo E 0, cioè perfettamente sferica, che a un primo sguardo potrebbe sembrare abbastanza normale. Rotonda, di diametro non troppo grande, dello splendore consueto; unica stranezza: un getto di materia rettilineo e sottile, che si diparte

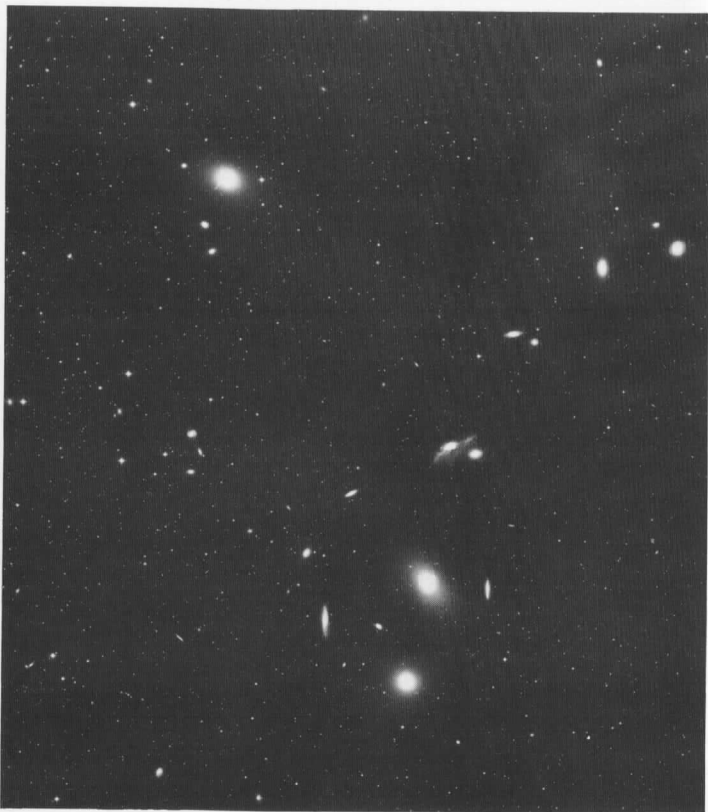


Fig.107 Fotografia a largo campo del gruppo di galassie nella costellazione della Vergine del quale fa parte M 87. Dal centro verso il basso, ultime di una lunga catena, le galassie NGC 4438, M 86 ed M 84; notare la forma inconsueta della prima. In alto, leggermente a sinistra, la galassia gigante ellittica M 87. La fotografia è stata ottenuta con una speciale tecnica col telescopio Schmidt di Mount Palomar (per cortesia di F. Bertola).

dal centro in direzione nord-ovest (FIG. 108). Per chi desidera le cifre preciseremo che il diametro della galassia appare di 3' e il getto, orientato nell'angolo di posizione di 290°, risulta lungo 20'' e largo 2''. Naturalmente ciò è quanto appare dalla Terra. In effetti, le dimensioni reali dipendono dalla distanza e la lunghezza apparente del getto corrisponde a quella reale solo se, per combinazione, esso è orientato perpendicolarmente alla nostra visuale; se invece è più o meno inclinato rispetto a noi, quella che noi vedremo sarà solo la sua proiezione ed esso potrebbe essere, in realtà, molto più lungo.

Osservazioni sempre più approfondite, compiute soprattutto negli ul-

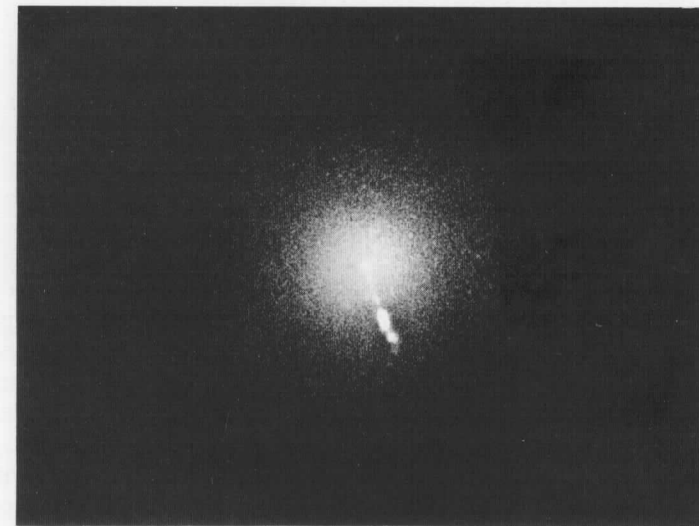


Fig.108 La zona centrale della galassia M 87 fotografata con posa corta, in modo da rendere visibile il getto di materia uscente dal centro (Mount Wilson and Palomar Obs.).

timi anni e tuttora in pieno svolgimento, hanno rivelato che il getto rettilineo non è l'unica strana caratteristica e forse nemmeno la più eccezionale.

Fin dal 1949 si era scoperto che M 87 emette onde radio. L'eccezionalità della cosa, come si chiarì meglio in seguito, non consisteva tanto nel fatto in sé stesso poiché, come si trovò poi, molte galassie emettono radioonde, ma nell'entità dell'emissione. Ricerche successive mostrarono che l'emissione radio si svolge essenzialmente secondo tre componenti: una estesa, di aspetto ellittico, delle dimensioni apparenti di $6' \times 10'$; una intensa, lungo una fascia sottile della lunghezza di circa 50''; una centrale, pressoché

puntiforme, che, secondo misure interferometriche effettuate in Australia e in California, avrebbe un diametro di appena 3 mesi luce.

Nel 1965 gli strumenti installati su un missile Aerobee lanciato per lo studio delle sorgenti celesti di raggi X rivelarono che M 87 è una potente emittente di raggi X, che invia nello spazio con un'intensità da dieci a cento volte superiore a quella dell'emissione ottica e radio. A quella data non si conoscevano altre sorgenti X extragalattiche; oggi ne sono note alcune decine delle quali solo nove, tra le quali è M 87, sono state sicuramente identificate.

Ma anche nel campo ottico le sorprese non erano finite. Come abbiamo già visto le galassie sono spesso accompagnate da decine o centinaia di ammassi globulari, disposti intorno a esse come un alone. Ciò accade nella nostra Galassia, in M 31, e non è strano che avvenga anche in M 87. Le fotografie a lunga posa hanno rivelato infatti questa corona di ammassi ma in numero enorme: molte centinaia (FIG. 109). Ne sono stati contati oltre un migliaio e, considerando che i più deboli ci sfuggono, si può calcolare che, se i maggiori sono della stessa grandezza e splendore intrinseco di quelli più grandi della nostra Galassia o di quella di Andromeda, il loro numero totale deve essere di circa 2100. Per avere un'idea dell'enormità di una tale cifra basterà ricordare che in tutta la Galassia ne avevamo incontrati poco più di un centinaio e in M 31 meno di duecento.

Dallo splendore apparente degli ammassi globulari, sempre supponendo che i più luminosi abbiano la stessa luminosità di quelli più brillanti appartenenti alla Galassia e a M 31, si è ricavata la distanza di M 87, che era già stata trovata, d'altronde, con altri metodi meno precisi. Secondo le misure di A. Sandage (1968) in buon accordo anche con altre successive, M 87 dista da noi 48 000 000 di anni luce.

Ora che conosciamo la distanza possiamo ricavare le dimensioni reali di questa galassia. Anche qui le osservazioni più recenti ci hanno procurato una grossa sorpresa. Servendosi del più grande telescopio del mondo e ricorrendo a tecniche fotografiche particolari, gli astronomi H. C. Arp e F. Bertola hanno scoperto che M 87 è, in realtà, molto più estesa di quanto era apparsa fino a ora, poiché le zone più esterne, più deboli, erano sempre sfuggite. Il suo diametro è risultato di almeno un grado, corrispondente a un diametro reale di 848 000 anni luce. Si tratta dunque di una galassia gigantesca, ben più grande della nostra o di quella di Andromeda, che erano già tra le più grandi conosciute.

Ma un risultato ancora più sbalorditivo è stato ottenuto per la massa. Le determinazioni più recenti, che hanno preso l'avvio soprattutto dalla scoperta di un grande diametro, hanno condotto a valutazioni dell'ordine di migliaia di miliardi la massa del Sole. Secondo la più recente di queste ricerche, pubblicata nell'aprile del 1970, M 87 pesa 27 000 miliardi di



Fig.109 La galassia M 87 fotografata con posa lunga. I punti luminosi visibili nelle zone più esterne intorno a essa non sono stelle ma ammassi globulari, ognuno dei quali è costituito da centinaia di migliaia di stelle (Mount Wilson and Palomar Observatories).

volte più del Sole. Ciò non significa, naturalmente, che essa sia necessariamente composta da 27 000 miliardi di stelle come il Sole, poiché può darsi che gran parte della materia sia ancora informe. Tuttavia è ugualmente impressionante pensare che, col materiale di M 87, si potrebbero costruire oltre duecento galassie grandi come la nostra, oppure quasi cento galassie come quella di Andromeda o, addirittura, quattromilacinquecento galassie minori, come la Grande Nube di Magellano.

Ma veniamo alle scoperte più sensazionali, che sono soprattutto in relazione al getto centrale, notato fin dal principio. Questa strana configurazione, segnalata già nel 1918, è stata studiata sempre più a fondo solo nell'ultima ventina d'anni, soprattutto in questi ultimi. Ha un diametro medio di 470 anni luce e una lunghezza di almeno 5000. Non è però sicuramente un cilindro perfettamente continuo e omogeneo poiché, anche osservato dall'enorme distanza alla quale ci troviamo, mostra interruzioni e nodosità. Sia il getto che i nodi sono brillantissimi. G. De Vaucouleurs ha rilevato che questi ultimi hanno aspetto pressoché puntiforme e devono

avere diametri non superiori ai 60 anni luce e, d'altra parte, il più luminoso di essi è risultato sessantacinque volte più intenso dell'ammasso globulare più brillante associato a M 87.

Una delle più importanti scoperte sul getto fu compiuta nel 1956 da Baade, che trovò che la luce emessa è polarizzata. Anche il getto di M 87, dunque, come la Nebulosa del Granchio, il famoso residuo dell'esplosione di una supernova, emette radiazione di sincrotrone, come aveva previsto l'astronomo russo Shklovskij già un anno prima che Baade lo scoprisse con l'osservazione. L'energia dispersa nello spazio sotto forma di luce e di onde radio, è dunque emessa da elettroni relativistici, cioè da elettroni che si muovono a velocità prossime a quella della luce, accelerati da un campo magnetico. E in questo caso l'energia in gioco è enorme. Basandosi sulla stima effettuata da G. R. Burbidge (attraverso la teoria della radiazione di sincrotrone ben nota e collaudata nei laboratori terrestri) si trova che il getto di M 87 emette, come luce, in meno di un anno, una quantità di energia uguale a tutta quella sviluppata ed emessa da una supernova nell'intera sua esistenza.

Ciò significa non solo che là si produce una quantità di energia enorme, ma anche che, proprio per questa ragione, deve trattarsi di un fenomeno temporaneo che non può durare a lungo. Infatti, sempre dalla teoria della radiazione di sincrotrone, si è tentato di ricavare la vita media degli elettroni ai quali è dovuta l'emissione ottica e si è trovato che questa deve essere dell'ordine di appena un migliaio di anni. Naturalmente durante tutta la vita del getto vi possono essere state diverse generazioni di elettroni ottici ma ciò non toglie che il getto stesso non può essere durato molto più a lungo.

Per cercare di sapere qualcosa di più, risaliamo lungo il getto verso l'interno della galassia e andiamo a vedere cosa sta accadendo ora nel nucleo. Osservazioni spettroscopiche hanno rivelato che questo è ricchissimo di gas, essenzialmente ossigeno ionizzato. Tale gas, però, non è in quiete o in moto turbolento ma in rapidissima espansione, allontanandosi dal centro alla velocità di 900 km/s. Ammettendo che anche il getto si sia formato con materia espulsa dal centro a una simile velocità, si calcola facilmente che deve essere sorto circa 15 000 anni orsono. Naturalmente il tempo potrebbe essere maggiore se il getto è più lungo di quanto ci appare (non dimentichiamo che lo vediamo in proiezione) o minore se il gas del getto fu espulso a velocità più alta di quella osservata oggi nel nucleo. Dato che, quasi certamente, valgono entrambe le considerazioni, se uno dei due effetti non domina nettamente sull'altro, essi tendono a compensarsi a vicenda e l'età del getto può essere valutata, più o meno, intorno ai 15 000 anni. Comunque, indipendentemente da misure più precise, una cosa appare ormai certa: che il getto esiste da poche migliaia di anni (un valore irrisorio se si

pensa alle sue dimensioni e se si ricorda che l'evoluzione di una galassia si misura in miliardi di anni) e che è stato formato da una specie di esplosione verificatasi nel nucleo.

Ci si potrebbe domandare come mai si verificò questa esplosione e perché una sola volta e in una sola direzione. Benché non si abbiano idee chiare sulle cause di un simile fenomeno, va segnalato che, secondo osservazioni recenti esistono anche altri getti, più deboli, uscenti dal centro in altre direzioni; anzi, uno di questi è esattamente opposto a quello principale. Sembra, dunque, che non vi sia stata una sola esplosione. Ma, a questo punto, questo genere di fenomeni può essere meglio osservato su un'altra galassia che presenta evidenze ancora più suggestive.

La galassia M 82

Si tratta di M 82, una galassia vista di profilo, nella costellazione dell'Orsa Maggiore, poco lontana da una bella galassia spirale, M 81. La sua massa è appena un millesimo di quella di M 87, della quale è anche molto meno estesa. Tuttavia, essendo molto più vicina a noi (10 500 000 anni luce) e di tipo irregolare, appare ugualmente abbastanza estesa e, soprattutto, molto ricca di dettagli. Si notano, qua e là, diverse condensazioni brillanti e molte linee oscure che l'attraversano in varie direzioni e rivelano la presenza di una notevole quantità di polvere interstellare. Fotografie infrarosse hanno rivelato la presenza di un nucleo compatto, in prossimità del centro. Questo nucleo, nelle fotografie precedenti effettuate in corrispondenza della radiazione visibile, era sempre sfuggito, mascherato, appunto, dall'enorme quantità di polvere che viene invece trapassata dalla radiazione infrarossa. Ma la più grande scoperta, conseguita proprio sfruttando particolari tecniche fotografiche, è stata quella compiuta nel 1963 da R. C. Lynds e A. Sandage. Ed ecco come sono andate esattamente le cose e ciò che hanno trovato.

Osservando M 82 visualmente o fotografandola senza particolari accorgimenti, era sempre apparsa come deve mostrarsi una normale galassia vista di profilo: leggermente fusiforme, con i particolari che abbiamo descritto e come appare nella FIG. 110 in alto. Questa visione è dovuta alla luce emessa dai gas e, soprattutto, dalle stelle che la compongono, che, naturalmente, non riusciamo a distinguere individualmente a causa dell'enorme distanza. Lynds e Sandage hanno fotografato invece M 82 con una lastra particolarmente sensibile alla luce rossa della riga H α dell'idrogeno e con un filtro di luce che lasciava passare quasi esclusivamente la luce emessa da questa riga (FIG. 110 in basso). Ne è risultata un'immagine completamente diversa da quella consueta. Dalla zona centrale escono due enormi baffi, perpendicolari al piano equatoriale, dovuti a luce emessa non da stelle ma da gas, cioè, appunto, da idrogeno. Questi baffi d'idrogeno consistono

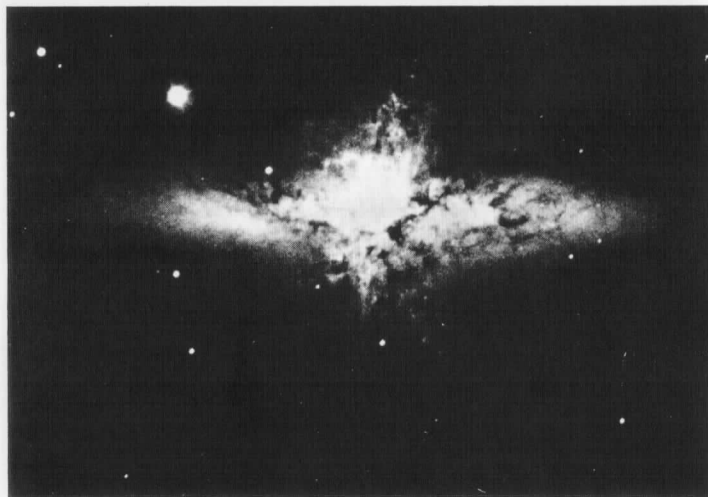
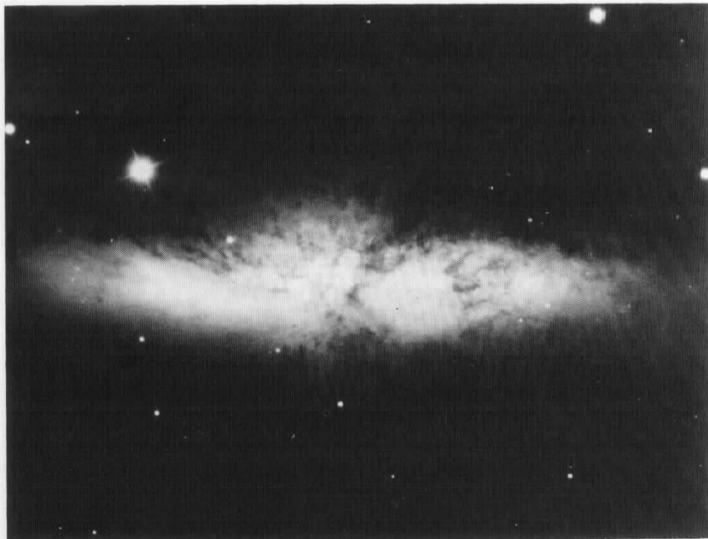


Fig.110 La galassia M 82 della costellazione dell'Orsa Maggiore che dista da noi dieci milioni e mezzo di anni luce e la cui massa è appena un millesimo di quella di M 87: sopra, fotografata con una normale lastra blu, M 82 non differisce molto da una qualsiasi galassia irregolare vista di profilo. Sotto, la stessa galassia fotografata in luce rossa, in modo da registrare l'emissione corrispondente alla riga H α dell'idrogeno, rivela due enormi coni di gas, espulso dal centro ad altissima velocità in una colossale esplosione che si è verificata al massimo dodici milioni di anni fa (*Mount Wilson and Palomar Obs.*).

in due enormi sistemi di filamenti (uno per parte, rispetto al piano equatoriale) della lunghezza massima di 10 000 anni luce. L'osservazione spettroscopica di questi filamenti ha mostrato che il gas che li compone esce dal nucleo alla velocità di 1000 km/s.

Dunque su questa galassia si verifica un fenomeno analogo a quello osservato nel nucleo e nel getto di M 87, solo che qui non avviene in una

sola direzione ma è un'unica, immensa esplosione che coinvolge un'intera galassia. Enormi quantità di materia allo stato gassoso si stanno allontanando dal centro alla fantastica velocità di 1000 km/s. Per avere un'idea della violenza di un tale evento basterà tenere presente che la terribile onda esplosiva provocata da una bomba nucleare investe la materia alla velocità di appena 75 km/s, e ciò avviene solo nei primi istanti e nello spazio immediatamente adiacente all'esplosione: l'onda d'urto che raggiunge l'obiettivo e spazza via case e palazzi come fucilli investiti dal vento, è già molto più debole. L'interno di questa galassia sta dunque esplodendo con una violenza almeno venti volte superiore a quella di una bomba atomica. E stiamo solo confrontando la violenza dell'esplosione non l'energia liberata che, evidentemente, è incomparabilmente più grande, data l'enorme quantità di materia che sta esplodendo. È stato trovato che l'energia scatenata è di 10^{55} erg, cioè quanto quella di un milione di supernovae; e non dimentichiamo che il numero di bombe atomiche che occorrono per ottenere l'energia di una supernova è 1 seguito da 28 zeri! In altre parole è come se al centro di M 82 fossero esplose: 10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 bombe atomiche.

Dalla velocità d'espansione dei filamenti (facendo il percorso a ritroso) si trova che l'esplosione dovette iniziare al massimo un milione e mezzo di anni fa. Diciamo al massimo poiché il calcolo è stato eseguito sulla base della velocità attuale ma, quasi certamente, quella iniziale era maggiore poiché, in seguito, il gas in espansione dovette essere rallentato dall'urto contro quello già esistente nella galassia. Dunque, al massimo un milione e mezzo di anni fa, sulla galassia M 82 ebbe inizio un'esplosione che dura tuttora.

Ma adagio: ciò è quanto vediamo noi. In realtà, dato che M 82 è distante 10 500 000 anni luce, possiamo dire solo che 12 milioni di anni fa, incominciò un'esplosione che noi, dopo 1 500 000 anni, vediamo ancora propagarsi verso l'esterno. Da allora sono passati ancora più di 10 milioni di anni. Cosa sarà accaduto su M 82 nel frattempo? Come sarà stata trasformata quella galassia? Come ci apparirebbe in questo momento se la potessimo osservare da vicino? Sono domande alle quali non potremo mai rispondere e i nostri discendenti che lo potranno, se mai esisteranno, sono molto più lontani da noi, nel tempo, di quanto lo siamo noi stessi dagli uomini dell'età della pietra.

Ma è inutile tormentarci rammaricandoci di ciò che non potremo mai sapere. Vi sono ancora tanti misteri da scoprire, tante scoperte suggestive da compiere su ciò che possiamo vedere adesso.

E proprio su questa base e per questa ragione promettiamo fin da ora ai nostri compagni di viaggio di mostrar loro, fra poco, qualcosa di ben più strabiliante dello spettacolo che potrà rivelare agli abitanti della Terra la galassia M 82, fra dieci milioni e mezzo di anni, qualunque esso sia.

Le galassie di Seyfert

Intanto dobbiamo continuare il nostro viaggio fra le galassie nel cui interno si scatenano eventi di una violenza inaudita, mai conosciuta prima.

A parte qualche altro caso più o meno simile ai due che abbiamo già descritti, si conosce un certo numero di galassie, sparse nei più disparati punti dello spazio ma con caratteristiche simili, nei cui nuclei si stanno attualmente verificando tremende esplosioni, come forse doveva apparire quella in M 82, alla sua origine. Sono le cosiddette 'galassie di Seyfert', dal nome dell'astronomo americano che scoprì le prime nel 1943, ma non poté conoscere tutta la portata della sua scoperta, perché perse la vita diciassette anni più tardi in un incidente automobilistico, un evento molto meno violento dell'esplosione di una galassia ma per lui ben più fatale. Grandezza e fragilità dell'uomo, che riesce a conoscere tanto e può essere distrutto con tanto poco!

Oggi di galassie di Seyfert corrispondenti alla classificazione iniziale se ne conoscono una dozzina. All'osservazione diretta, appaiono abbastanza simili alle galassie normali a spirale, tranne in uno strano particolare: il loro centro è occupato da un nucleo puntiforme, molto brillante, simile a una stella. Fu questa la caratteristica per la quale Seyfert le mise in evidenza. Ma il loro studio approfondito, compiuto negli ultimi anni con diverse tecniche d'osservazione, ne ha mostrate altre, sempre più importanti.

Data l'immensa distanza che ci separa da questi oggetti, nonostante l'apparenza stellare, il nucleo non può avere in realtà le dimensioni di una stella, cioè esso è piccolo soltanto rispetto al resto della galassia alla quale appartiene. Con osservazioni spettroscopiche si è scoperta la presenza di intense righe dell'idrogeno e dell'ossigeno doppiamente ionizzato, in emissione e in condizioni di alta eccitazione. Dal notevole allargamento di queste righe è risultato che i gas presenti nel nucleo sono in espansione a velocità intorno ai 5000 km/s. Inoltre M. Walker ha scoperto, in una di queste galassie, che il nucleo non consiste in un'unica massa di gas ma in almeno quattro nubi, in espansione con velocità diverse.

Una seconda importante caratteristica riguarda il colore della luce emessa. La luce di una galassia normale è prevalentemente quella delle stelle, di tipo solare, che la compongono per la maggior parte, cioè gialla. Così avviene anche per una galassia di Seyfert, quando la raccogliamo tutta. Se però limitiamo la luce che giunge sul nostro strumento rivelatore mediante un diaframma centrato sul nucleo e lo chiudiamo sempre più, il colore si sposta progressivamente verso il blu, il violetto e l'ultravioletto. Ciò significa, evidentemente, che, mentre il resto della galassia è composto da stelle, in maggioranza più o meno come il Sole, il suo nucleo emette soprattutto luce blu-violetta. Le galassie di Seyfert sono anche radioemittenti, generalmente molto deboli e spesso con intensità variabile.

Ma la notizia più sconcertante su questi oggetti fu quella data nel 1967 al Congresso internazionale di Praga; il nucleo di aspetto puntiforme di alcune galassie di Seyfert appariva variabile. La notizia suscitò molto scalpore, soprattutto perché, data la grande distanza da noi, anche un nucleo puntiforme come quelli descritti deve avere dimensioni enormi e più le dimensioni sono grandi più è difficile spiegarne la variabilità, involvendo il fenomeno una sempre maggiore quantità di materia. Questo mistero non è stato ancora svelato. Forse è collegato ai fenomeni di espansione osservati spettroscopicamente. In ogni caso, per quanto gran parte dei fenomeni osservati in queste galassie, e soprattutto la variabilità dei nuclei, siano ancora misteriosi, una cosa è certa: che anche in questo caso stiamo assistendo a vere e proprie esplosioni e anzi, dato che le velocità di espansione possono raggiungere i 5000 km/s, esse sono fino a cinque volte più violente di quella osservata in M 82. Forse le galassie di Seyfert mostrano proprio la fase iniziale dell'esplosione, più circoscritta ma più violenta, e M 82 la sua evoluzione successiva.

Dalle dimensioni del nucleo (misurate direttamente) e dalla velocità di espansione del gas (osservata spettroscopicamente) si può ricavare quanto tempo è stato necessario al gas uscente dal centro di una galassia di Seyfert per formare un nucleo del diametro attualmente osservato. Si è trovato un intervallo di appena 20 000 anni. Si tratta dunque sicuramente di esplosioni ben più recenti di quella di M 82.

Ma i calcoli possono anche rivelarci il tempo che dovrà trascorrere prima che tutta l'energia attualmente presente come energia cinetica, cioè come energia della materia in movimento, sia irradiata nello spazio sotto forma di righe in emissione, come quelle osservate dell'idrogeno e dell'ossigeno. È risultato che occorrono circa 3 000 000 di anni. Questo tempo potrebbe essere più breve, per esempio se l'energia venisse dissipata anche sotto altra forma (e in parte abbiamo visto che ciò può avvenire attraverso l'emissione radio), ma è significativo il fatto che l'ordine di grandezza della durata del fenomeno è del milione di anni, cioè quanto risulta che è già durata l'esplosione in M 82. Anche l'energia associata alla massa in espansione sembra essere dello stesso ordine di grandezza di quella liberata dall'esplosione in M 82: circa 10^{55} erg.

Da tutte queste osservazioni balza evidente una visione inconsueta del mondo delle galassie, ben diversa da quella che avevamo avuto finora. Questo non è più soltanto il regno delle immense distanze, degli agglomerati di materia smisurati ma simmetricamente ordinati nella pace assoluta del cosmo, ma può essere sede anche di catastrofi immani in cui anche la violenza supera i limiti della nostra immaginazione, come già era avvenuto per le masse, per le distanze, per il numero delle stelle.

Per ora non sappiamo molto di più di quanto si è visto. Ma è quanto

basta per tracciare un primo quadro di ciò che deve avvenire. In alcune galassie, che possono essere ellittiche (come M 87), irregolari (come M 82) o spirali (come quelle di Seyfert), si possono verificare eventi violenti, nel corso dei quali possono venire emessi fino a 10^{56} erg di energia, i cui effetti si manifestano in diversi modi e persistono fino a oltre un milione di anni dopo l'inizio dell'esplosione. Nell'esplosione vengono emesse, in gran quantità, particelle relativistiche (ad altissime velocità) la cui presenza viene rivelata dall'emissione di radioonde e di luce polarizzata. Infine viene lanciata materia nello spazio a velocità enormi.

Velocità maggiori o uguali a 1000 km/s erano state già osservate in qualche rara occasione, come nei resti delle supernovae o in certe forme di attività solari, ma in questi casi riguardavano masse relativamente molto piccole. Nelle galassie di Seyfert dove l'evento è osservabile presumibilmente all'inizio, la quantità di materia che si sposta con velocità comprese tra 1000 e 3000 km/s ha una massa totale che va da un milione a dieci milioni di volte quella del Sole. La velocità di fuga dal centro di una normale galassia a spirale (cioè la velocità che bisognerebbe imprimere a un corpo perché questo sfugga nello spazio e non ricada più sulla galassia) è di circa 500 km/s, mentre quella per sfuggire a una ellittica, più massiccia, è circa tre volte maggiore. Il materiale espulso potrebbe quindi sfuggire dalla galassia, a meno che non venga trattenuto, urtando contro altro materiale preesistente. La fuga dipenderà quindi solo dall'ammontare del gas già esistente e dalla sua distribuzione. Così, in una galassia schiacciata (come quelle spirali e irregolari) se l'esplosione espelle dal nucleo una massa dieci milioni di volte quella del Sole, alla velocità iniziale di 3000 km/s, il materiale scagliato nella direzione del disco, dopo un percorso di 13 000 anni luce sarà frenato fino alla velocità di appena 50 km/s, mentre quello lanciato in direzione perpendicolare incontrerà una resistenza debole, uscirà rapidamente al di fuori della galassia e continuerà a espandersi a grande velocità. Naturalmente la velocità sarà tanto minore quanto più la direzione del moto di espansione si allontana dalla perpendicolare al piano equatoriale della galassia, poiché lo spessore da superare, e quindi la resistenza del mezzo, sarà sempre maggiore. In pratica in una galassia spirale o irregolare la materia espulsa uscirà secondo due coni. Ciò è proprio quanto viene mostrato dai due 'baffi' di gas osservati in M 82. Mentre invece nell'esplosione osservata in un'altra galassia a simmetria sferica (NGC 1275), è stata misurata la stessa velocità, di circa 3000 km/s, in tutte le direzioni, e anche lontano dal centro.

NGC 1275 è una galassia ben più mostruosa di M 87 e di M 82, riassumendo alcune delle caratteristiche più straordinarie di entrambe (Fig. 111). Le prime peculiarità strutturali furono rilevate già dalle osservazioni ottiche di E. P. Hubble nel 1931. Successivamente C. K. Seyfert l'incluse nel

suo gruppo di galassie peculiari. Nel 1954 risultò che era sede di una delle più intense radiosorgenti celesti (Perseus A) e tre anni dopo R. Minkowski propose di spiegare i fenomeni osservati con la collisione di due galassie. Dopo la scoperta dell'esplosione nel nucleo di M 82, Sandage e i coniugi Geoffrey e Margaret Burbidge, avanzarono l'ipotesi che anche questa fosse sede di un'esplosione simile, sviluppatasi in tutti i sensi anziché secondo due coni preferenziali come quella di M 82. All'inizio del 1970 Lynds, usando filtri a stretta banda passante, ha ottenuto un'impressionante serie di foto-



Fig.111 La galassia NGC 1275, nota anche come la radiosorgente Perseus A: sopra, in una fotografia normale che già ne mette in evidenza l'aspetto inconsueto (*Mount Wilson and Palomar Observatories*). Sotto, NGC 1275 fotografata da Lynds a Kitt Peak in luce della riga H α tenendo conto dello spostamento verso il rosso della riga dovuto al moto della galassia, in modo da registrare le strutture d'idrogeno nel piano normale alla nostra visuale passante per il centro dell'oggetto. L'aspetto ramificato suggerisce un'esplosione con espansione della materia uscente dal centro in tutte le direzioni (*Kitt Peak National Observatory*).

grafie, dal confronto delle quali risulta che le varie parti dotate di moti di allontanamento o avvicinamento diversi rispetto a noi formano strutture di aspetto completamente diverso. In particolare la fotografia ottenuta in corrispondenza dello spostamento della riga $H\alpha$ dell'idrogeno dovuto soltanto alla velocità radiale dell'intera galassia, che registra l'aspetto dell'esplosione solo nel piano perpendicolare alla nostra visuale, mostra una struttura ramificata che ricorda moltissimo quella della Nebulosa del Granchio (oggetto, come abbiamo visto, completamente diverso da questo) ricca di filamenti estendentisi fino a una distanza almeno quattro volte superiore a quella registrata fino a ora. Queste osservazioni confermano l'ipotesi esplosiva e suggeriscono che il materiale si espande ugualmente in tutte le direzioni. Il caso sembra dunque simile a quello di M 82, con la differenza che qui, forse a causa della simmetria sferica dell'oggetto, il materiale espulso non viene fermato in alcune zone preferenziali, più dense. D'altra parte NGC 1275 è simile anche a M 87 poiché le osservazioni compiute nell'inverno del 1971 dal satellite Uhuru hanno condotto a scoprire che è una potentissima emittente di raggi X, tre volte più intensa di M 87, l'unica sorgente X extragalattica nota fino a quel momento.

NGC 1275, M 82, M 87, galassie di Seyfert. Aspetti diversi di una medesima realtà: un'enorme esplosione scatenatasi nel centro di galassie di diverso tipo o forse colta in fasi diverse di una stessa evoluzione.

Non è escluso che il fenomeno dell'esplosione si possa ripetere più volte in una stessa galassia. Anzi Burbidge, in base a considerazioni statistiche sul numero di galassie mostranti questi fenomeni rispetto al totale di quelle conosciute, rileva che, dato che il fenomeno dura appena un milione di anni, se si verifica una sola volta, il numero dei casi di questo genere ai quali assistiamo noi ora è troppo alto. Così, per ogni galassia di Seyfert, nel corso di dieci miliardi di anni (intervallo di tempo ragionevole per la vita di una galassia) esplosioni della durata di un milione di anni dovrebbero verificarsi circa cento volte. Invece per le galassie che sono anche intense radiosorgenti (come M 87 o NGC 1275), nello stesso intervallo di tempo dovrebbero accadere non più di dieci volte. Ma è poi certo che eventi violenti di questo genere non si siano mai verificati o non si potrebbero verificare anche in altre galassie? Non è da escludere: nei nuclei di alcune galassie spirali sono state osservate ampie regioni di gas ionizzato, che potrebbero rappresentare l'origine o i resti di zone esplosive; inoltre, potrebbero verificarsi esplosioni su scala ridotta che sfuggono all'osservazione. Anche nel centro della nostra Galassia, come abbiamo visto, si svolge una simile attività, benché così modesta che passerebbe inosservata vista dall'esterno a grande distanza.

Una cosa comunque è ormai certa. Che una galassia può essere non soltanto una città stellare, sia pure immensa, dove tutto è preordinato e i fatti

si susseguono ed evolvono col ritmo della vita quotidiana, ma una città che ha nel suo interno una polveriera, la cui funzione e il cui meccanismo ci sono del tutto sconosciuti. Quando la polveriera esplose non riusciamo più a vedere quella meravigliosa armonia che ci suggerivano le spire cosparse di stelle in tante galassie normali: abbiamo di fronte un cataclisma così immenso e violento, in confronto al quale l'intera esplosione del nostro pianeta non farebbe un effetto maggiore del colpo di una pistola scaccia-cani rispetto alla deflagrazione di una bomba H.

Emissione infrarossa

Le terribili esplosioni che sconvolgono il centro di alcune galassie non costituiscono l'unico modo attraverso il quale i loro nuclei emettono energia. Era stato scoperto che il nucleo della nostra Galassia irradiava un'enorme quantità di radiazione infrarossa; ebbene la stessa cosa può avvenire anche in altre galassie ma, a quanto sembra, su una tale scala che l'emissione del centro galattico, che tanto ci aveva stupito per la sua originalità e intensità, diventa, in confronto, una ben misera cosa. Dodici sono finora le galassie nei nuclei delle quali è stata scoperta un'emissione infrarossa, che in tre di esse giunge a essere centomila volte superiore a quella della nostra Galassia. In cinque galassie tale emissione è risultata cento volte superiore all'erogazione consueta di energia da parte di un'intera galassia normale. Tra questi casi e quello della Galassia ve ne sono sicuramente altri intermedi, come quello della compagna di M 51, che nell'infrarosso irradia appena venti volte di più del nucleo galattico.

L'energia emessa in questo modo, uniforme e continuo, è enorme come quella delle esplosioni, e la sua origine è altrettanto misteriosa. Finora non sono state trovate spiegazioni adeguate, nell'ambito della fisica conosciuta, per le sorgenti responsabili di una tale emissione. E certamente l'osservazione ci riserva ancora molte sorprese. Ad esempio, le dodici galassie con nucleo infrarosso sono state osservate solo alla lunghezza d'onda di $10 \mu\text{m}$. Ma, come hanno dimostrato le osservazioni del centro della nostra Galassia, vi può essere un'emissione in un'altra zona dello spettro infrarosso, come quella più avanzata a $100 \mu\text{m}$, non accompagnata da un flusso osservabile a $10 \mu\text{m}$ o addirittura dall'emissione di luce. Forse esistono, dunque, vere galassie infrarosse, cioè che emettono esclusivamente nel lontano infrarosso, intensissime o vicine, ma che non riusciamo a scorgere solo perché oscure al nostro occhio o alle lastre fotografiche.

GRUPPI DI GALASSIE

Le violente esplosioni all'interno di alcune galassie (alle quali stiamo ora assistendo) non sono l'unica meraviglia del mondo extragalattico. Conti-

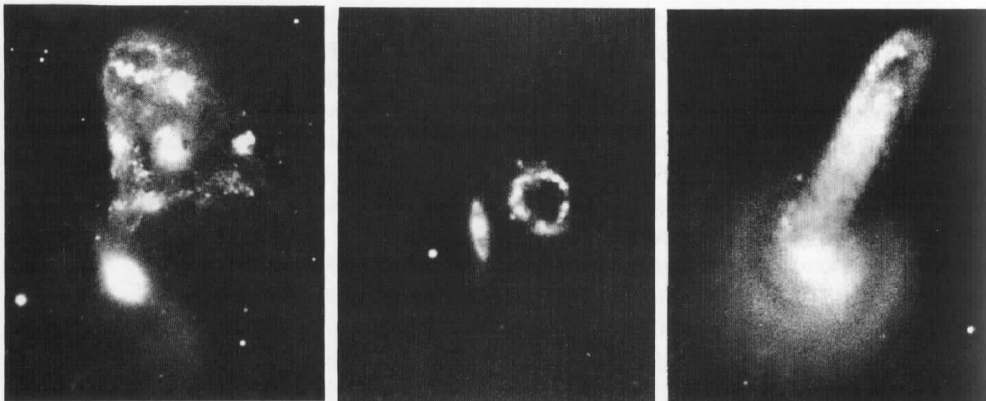


Fig.112 Tre galassie di aspetto assolutamente inconsueto. L'ultima a destra è forse già un esempio di due galassie interagenti, diversamente orientate nello spazio in modo da essere viste da noi sotto due diverse angolazioni. Le tre fotografie sono state tratte da un catalogo atlante di galassie peculiari (*Atlas of peculiar galaxies*), pubblicato da H. C. Arp, nel quale sono raccolti 338 casi di questo genere (*Mount Wilson and Palomar Obs.*).

nuando a esplorare zone di cielo sempre più vaste, non tarderemo a scoprire ancora altre entità eccezionali. La prima cosa che ci colpirà sarà l'esistenza di galassie dalle forme strane, che non rientrano minimamente, almeno per l'aspetto, nello schema delle galassie ellittiche, spirali o irregolari, comune alla maggior parte delle altre (FIG. 112). Molte hanno forme bizzarre, altre, pur avendo in linea di massima un aspetto abbastanza normale, presentano anche stranissime peculiarità: sono accompagnate da code sottili o diffuse, o addirittura da altre galassie di minori dimensioni, collocate in uno dei bracci spirali, o in più d'uno. Alcune sono fatte a forma d'anello, altre mostrano enormi getti di materia, ben più grandi di quello osservato in M 87. Non è raro osservare, nei pressi di galassie peculiari, materiale presumibilmente espulso dal nucleo e si conoscono addirittura casi in cui il centro stesso della galassia sembra essere sul punto di spezzarsi in due.

Alcuni di questi casi sono forse da collegarsi ai fenomeni esplosivi che abbiamo già osservato, dei quali rispecchiano le premesse o illustrano le conseguenze. Forse mostrano entrambe le cose e, se è vero che le esplosioni sono ricorrenti, queste strane galassie, più che spezzate sconvolte, rispecchiano il susseguirsi di eventi terribili e i loro effetti catastrofici. Altri casi, invece, potrebbero riallacciarsi a un'altra stranissima categoria di galassie: quella delle galassie doppie o addirittura multiple (si vedano le FIGG. 113 e 114).

Si potrebbe pensare che dietro apparenze di questo genere non vi sia

nulla di straordinario e che due galassie possano apparirci vicine solo per ragioni prospettiche. Ma non è così. Tali accostamenti sono reali, come rivela la struttura stessa delle galassie componenti, sensibilmente diversa da quella normale: i loro bracci, se si tratta di spirali, sono allungati e distorti per l'influenza reciproca delle masse o dei campi magnetici in gioco. Spesso, anche quando le galassie sono abbastanza lontane tra loro, le fotografie sono riuscite a mostrare filamenti luminosi che collegano l'una all'altra attraversando lo spazio interposto. Si tratta di veri e propri ponti intergalattici, della larghezza di non più di 10 000 anni luce, ma che raggiungono spesso lunghezze di oltre 200 000 anni luce. Il loro studio spettroscopico, compiuto da Zwicky col telescopio di 5 m dell'osservatorio di Mount Palomar, ha rivelato che sono composti essenzialmente da stelle, pur contenendo, talvolta, anche nebulose in emissione. In altre parole, la loro composizione è quella stessa delle galassie (si vedano le prime due immagini da sinistra della FIG. 115).

Cosa rappresentano questi gruppi di galassie e come si formano i ponti che li collegano? In un primo tempo si pensò che potesse trattarsi di ga-

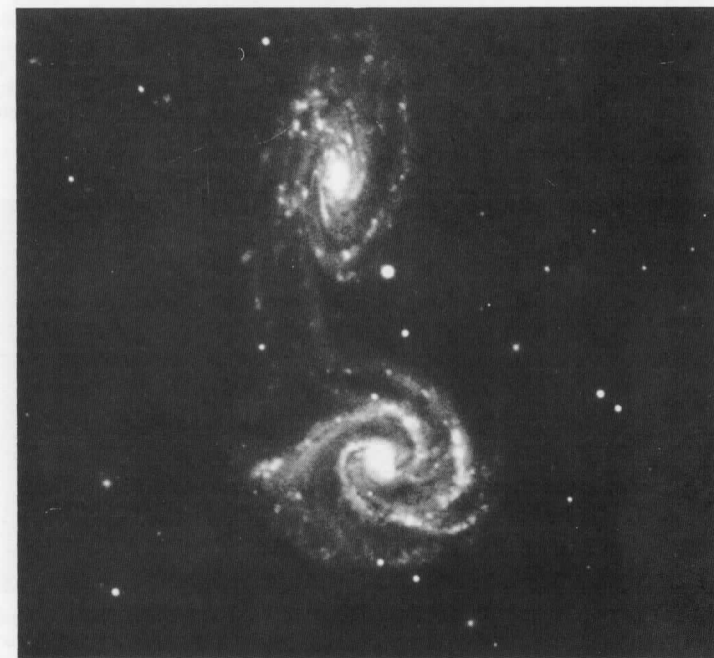


Fig.113 NGC 5432 ed NGC 5435, una coppia di galassie a spirale unite fra di loro da ponti fotografata col telescopio di 3 m dell'osservatorio di Lick (*Lick Observatory*).



Fig.114 Il quintetto di Stephan, un gruppo di cinque galassie segnalato già alla fine del secolo scorso. Secondo osservazioni radio effettuate a Nançay nel 1970, una di queste galassie (NGC 7320) sarebbe molto più vicina a noi delle altre e apparirebbe nel gruppo solo per ragioni di tipo prospettico (foto Lick Observatory).

lassie in collisione, incontratesi per caso viaggiando individualmente nello spazio. Oggi tale ipotesi non trova più sostenitori e sembra che, al contrario, le componenti di un sistema multiplo siano oggetti formati contemporaneamente. Non si tratterebbe dunque di 'estranei' ma addirittura di 'gemelli'. In tal caso la formazione dei ponti avverrebbe per effetto mareale, attraverso fenomeni di risonanza.

Diversa è invece l'opinione dell'astronomo russo B. Vorontsov-Velyaminov, secondo il quale i ponti intergalattici non si formerebbero per un effetto di marea ma in conseguenza di campi magnetici presenti nelle galassie interagenti.

Oltre alle galassie doppie e ai piccoli gruppi (come il famoso e suggestivo quintetto di Stephan della FIG. 114), esistono addirittura catene di galassie, nelle quali le componenti sono più o meno allineate (FIG. 115 a destra). Questi strani allineamenti sono misteriosi quanto gli stessi aggruppamenti che abbiamo ora osservato.

Quasi certamente si tratta di aspetti che rispecchiano diversi tipi o diversi momenti dell'evoluzione delle galassie. Poiché anche le galassie, come

tutto ciò che esiste nell'universo, devono essere soggette a un'evoluzione.

D'altra parte i piccoli gruppi di galassie non sono che un minuscolo campione di un qualcosa che avviene su scala ben più vasta. Esplorando sistematicamente lo spazio alla ricerca di galassie, non tardiamo ad accorgerci che quelle isolate sono una minoranza. La maggior parte delle galassie è riunita in gruppi: non solo in quei piccoli aggregati di cinque o sei che abbiamo incontrato ora, ma anche in agglomerati ben più vasti e numerosi, composti da decine o centinaia di galassie. Già nel 1933, Shapley aveva contato 25 gruppi di galassie. Con l'aumentare della potenza dei telescopi, soprattutto di quelli a largo campo, il numero di gruppi scoperti e quello delle galassie appartenenti a ogni gruppo, cresceva continuamente. Contemporaneamente si approfondivano le nostre conoscenze sui più interessanti di questi gruppi che oggi non esitiamo più a chiamare ammassi di galassie.

Il più vicino, e quindi il meglio conosciuto, è quello visibile nella costellazione della Vergine. È distante intorno a 50 milioni di anni luce e ha un diametro medio di 7 milioni di anni luce. Nella zona centrale si trova la galassia ellittica gigante M 87, mentre tutto intorno splendono almeno un migliaio di altre galassie: le più brillanti sono ellittiche o spirali, le più deboli sono ellittiche nane come quelle nelle costellazioni dello Scultore, del Leone, ecc., meglio conosciute perché più vicine a noi.

Ben più distante, ma ancora più ricco, è l'ammasso visibile in direzione della costellazione della Chioma di Berenice (FIG. 116). L'astronomo G.



Fig.115 Le prime due immagini da sinistra si riferiscono a galassie collegate da ponti e sensibilmente deformate per la mutua reciproca attrazione. La foto di destra raffigura invece una catena di galassie: l'allineamento non è prospettico, come dimostrato, tra l'altro, dalla luminosità generale di fondo che collega una galassia all'altra e avvolge l'intera catena. Al momento attuale si conoscono diversi allineamenti simili a questo che è tuttavia uno dei più evidenti (H. Arp, Mount Wilson and Palomar Observatories).



Fig.116 L'ammasso di galassie nella Chioma di Berenice in una fotografia a largo campo ottenuta da F. Bertola con il telescopio Schmidt da 1,2 m dell'osservatorio di Mount Palomar. Guardando con attenzione i numerosi punti bianchi nella zona centrale di questa fotografia si noterà, dalla loro forma leggermente allungata, che non sono stelle ma galassie.

Abell vi ha osservato 1656 galassie, stimando tuttavia che il loro numero totale deve ascendere ad almeno 3000. In questo ammasso, distante 300 milioni di anni luce, le galassie devono essere più vicine le une alle altre rispetto a quello della Vergine.

Infatti, pur essendo il diametro dell'ammasso 10 milioni di anni luce, le galassie sono almeno tre volte più numerose. Senza contare che nell'ammasso della Vergine avevamo osservato anche galassie nane: se ve ne sono con la stessa proporzione anche in quello della Chioma, il numero totale delle galassie di quest'ultimo deve ammontare a decine di migliaia.



Fig.117 La parte centrale dell'ammasso di galassie nella costellazione di Ercole. Qui, meglio che in quello della Chioma di Berenice, si vede chiaramente che gli ammassi sono composti da una popolazione di galassie di tutti i tipi e presentano persino esempi di coppie interagenti, fra cui due galassie a spirale (*Mount Wilson and Palomar Observatories*).

Lo studio di un certo numero di ammassi ha mostrato che alcuni hanno forma più regolare e simmetrica, altri meno. Le galassie che li compongono sono di tutti i tipi, anche se le percentuali dei vari tipi possono variare da un ammasso all'altro (FIG. 117). Spesso al centro di un ammasso regolare vi sono una o due galassie ellittiche. Talvolta c'è una cosiddetta galassia D. Queste galassie (così indicate secondo una classificazione recente e dettagliata dovuta a Morgan) hanno spesso nuclei doppi oppure multipli ed emettono radioonde di notevole intensità. Quando un ammasso di galassie ne contiene una di questo tipo, essa è più grande e più brillante

di qualsiasi altra appartenente a quell'ammasso, del quale occupa, appunto, il centro.

Si potrebbe ritenere che, come avviene per le stelle che possono raggrupparsi in ammassi, i quali a loro volta formano quei sistemi ben più ricchi e complessi che sono le galassie, così gli ammassi di galassie potrebbero costituire l'elemento base di agglomerati ancora più vasti e numerosi. Questo punto è ancora controverso. Alcuni astronomi (come Abell, Van den Bergh e De Vaucouleurs) affermano che gli ammassi di galassie sono composti da tanti aggruppamenti minori (come la Galassia e le Nubi di Magellano; M 31 e le due galassie vicine, e così via) e, a loro volta, costituiscono un'unità di base che forma agglomerati ben più vasti e numerosi: i superammassi. In tal caso la Galassia e le sue vicine, formanti il cosiddetto 'sistema di galassie locale', farebbero parte di un sistema di ammassi che avrebbe per centro quello della Vergine.

Altri astronomi (come Zwicky) negano recisamente l'esistenza dei superammassi di galassie, affermando che esistono solo ammassi di galassie più o meno estesi e più o meno ricchi, così come esistono anche molte galassie isolate, cioè non appartenenti ad alcun ammasso.

È possibile che la controversia sia dovuta, almeno in parte, alle stesse definizioni di ammasso e di superammasso date dai diversi autori. Certamente fino a ora un grande ostacolo è stato costituito anche dall'incompletezza e frammentarietà del materiale osservativo.

Questa lacuna è stata però colmata recentemente, in gran parte dallo stesso Zwicky, che tra il 1961 e il 1968 è riuscito a compilare e a pubblicare (in collaborazione con altri astronomi) il più vasto catalogo di galassie e di ammassi di galassie mai realizzato. Benché questo catalogo non comprenda l'emisfero australe, poiché abbraccia tutto il cielo boreale (dal polo fino a 3° S), esso comprende un numero enorme di galassie. Quelle isolate, o maggiori, sono ben 31 350, mentre il numero degli ammassi ammonta a 9700. Naturalmente alcuni di questi ammassi sono composti solo da qualche decina di galassie, ma ve ne sono alcuni che superano il migliaio: uno contiene addirittura 3755 galassie e un altro 5130. Ammettendo che, in media, ogni ammasso comprenda almeno 200 galassie, si trova che sono stati contati almeno due milioni di galassie.

Ma una galassia media contiene circa cinquanta miliardi di stelle. Abbiamo dunque la prova diretta dell'esistenza di almeno cento milioni di miliardi di stelle. Se ogni stella costituisce il centro di un sistema di corpi minori come avviene per il Sole, quanti pianeti, satelliti, comete e asteroidi devono esistere in tutta questa parte dell'universo esplorato? È un numero che è impossibile precisare, poiché ancora non abbiamo un'idea esatta della percentuale dei sistemi planetari rispetto al numero delle stelle. Possiamo solo affermare che deve essere enorme constatando che, anche se esistesse

un solo sistema planetario simile al nostro per ogni galassia, ciò basterebbe a farci ammettere l'esistenza di almeno ottanta milioni di corpi come i pianeti o i satelliti e cinquanta milioni di miliardi di corpi minori come asteroidi e comete. Ma l'ipotesi di un solo sistema planetario per ogni galassia è paradossale, poiché, già visitando le stelle vicine al Sole, avevamo constatato l'esistenza di altri pianeti e ci eravamo accorti che per tutte le altre, più distanti, i pianeti non si potevano scoprire solo per la limitatezza dei nostri mezzi.

Il numero dei pianeti, dei satelliti e delle comete dei quali abbiamo supposto ora l'esistenza dovrebbe essere dunque moltiplicato per un fattore altissimo: almeno per un milione, forse per un miliardo o addirittura per cinquanta miliardi (che è appunto il numero di stelle contenuto, in media, in ogni galassia) nel caso massimo, ma del tutto possibile, che ogni stella sia il centro di un sistema planetario.

Sono cifre da capogiro, che fanno vacillare la mente di chi ne afferra l'entità e il significato. È difficile valutarle e, se ci si riesce, è solo per un momento, perché il bisogno di dimenticarle è più forte del desiderio di considerarle, cosiccome uno speleologo, tornando rapidamente alla luce del giorno dopo ore o giorni di permanenza nell'oscurità delle caverne, deve chiudere gli occhi alla luce del sole che lo investe come un tormento. Quando poi, a poco a poco, riesce a riaprire gli occhi e a vedere il paesaggio, allora si accorge che se la luce era violenta e crudele, ciò che ora illumina è bello. E non stiamo pensando al solito prato fiorito o a un dolce paesaggio romantico, poiché anche il deserto più arido, la banchisa più desolata, l'ambiente più squallido, anche nei più tetri bassifondi di una città, di fronte alle tenebre è bello. Bello per i colori (che spesso dimentichiamo solo perché vi siamo abituati); bello per la varietà delle forme; bello e interessante, perché, qualunque esso sia, racchiude in sé una quantità enorme di cose da scoprire.

E tante, tante ne scopriremo ancora anche noi, se riusciremo a sopportare quei grandi numeri che ci illuminano sulla struttura e la natura dell'universo che si sta sempre più schiudendo davanti ai nostri occhi.

Appena torneremo a proseguire, scopriremo, per prima cosa, che le cifre trovate ora sono ancora il frutto di un conteggio solo approssimato e senz'altro parziale.

Infatti esso è basato sul catalogo di Zwicky, che non enumera la totalità delle galassie esistenti e neppure tutte quelle osservate fino a ora. In realtà sono rimaste escluse non solo, come si è già visto, tutte le galassie del cielo australe ma anche tutte quelle più deboli della magnitudine apparente 15,7 osservabili solo con strumenti più potenti dei due telescopi Schmidt di Mount Palomar, con i quali Zwicky ha effettuato la sua rassegna. D'altra parte si conoscono molti altri ammassi, deboli a causa

dell'enorme distanza, che sono accessibili a telescopi di maggiori dimensioni, come il grande riflettore di 5 m di diametro di Mount Palomar. Purtroppo questo riflettore ha un campo molto più ristretto dei telescopi Schmidt e impiegherebbe migliaia di anni per fotografare tutto il cielo visibile da Mount Palomar che lo Schmidt, invece, ha fotografato in soli sette anni. Tuttavia, con quel riflettore, sono stati scoperti ammassi ricchi e lontanissimi, in diverse parti del cielo, e ciò fa ritenere che, anche continuando ad allontanarci al di là dei limiti del catalogo di Zwicky, gli ammassi e le galassie si moltiplicano, distribuendosi ovunque nello spazio.

Ma dov'è dunque un limite a tutto questo, se pure c'è un limite? Se vogliamo tentare di scoprirlo non ci resta che continuare; quando non si sa niente, il sistema migliore per sapere dove conduce una strada è quello di percorrerla. Ma non possiamo avanzare subito. La domanda che ci siamo posti ora è una di quelle che tormentano l'uomo da quando ha acquistato l'uso della ragione e, se vogliamo tentare di dare a essa una risposta se non definitiva almeno soddisfacente e ragionevole, avremo bisogno di avere il maggior corredo di conoscenze che ci sarà possibile. Quello dei confini e della struttura dell'universo sarà, dunque, l'ultimo argomento che affronteremo e vedremo che avremo fatto bene perché stiamo per conoscere ancora fenomeni e oggetti che ci saranno di grande aiuto in quest'ultima discussione. Per ora ci fermeremo, dunque, ancora un momento, a guardare intorno: non più *le* galassie ma *tra* le galassie.

LO SPAZIO INTERGALATTICO

Quando, abbandonando la Galassia e le Nubi di Magellano, ci eravamo affacciati per la prima volta negli spazi intergalattici, la prima impressione che ci aveva colpiti era stata quella dell'immane vuoto cosmico. In seguito, viaggiando per oltre due milioni di anni luce, avevamo raggiunto M 31, un altro enorme agglomerato di materia e di stelle: un'altra galassia. Al di là di questa ne avevamo incontrate altre; tante, spesso immense, ma tutte, come le prime, distantissime tra loro. Avevamo, così, scoperto il mondo delle galassie, ma erano rimasti ugualmente, tra l'una e l'altra, quegli spazi completamente privi di materia e di qualsiasi corpo celeste: spazi vuoti e desolati. Questo quadro non convinceva molto alcuni astronomi, e soprattutto Zwicky, che non riuscivano ad accettare l'idea di uno spazio intergalattico completamente vuoto. Le loro ricerche in questo senso hanno avuto sviluppi molto interessanti.

La prima dimostrazione che tra il nostro gruppo di galassie e quello di Andromeda vi era altra materia, veniva data dalla scoperta delle galassie nane. Si potrebbe obiettare che, per quanto piccoli, questi agglomerati sono ancora galassie e, in fondo, la loro scoperta significava sol-

tanto che il numero delle galassie è maggiore di quanto era sembrato in un primo momento e il volume degli spazi vuoti tra le galassie leggermente inferiore. Ma se erano sfuggite galassie deboli non era possibile che, a maggior ragione, sfuggissero corpi minori, come ammassi globulari o stelle singole, sparse? Le ricerche successive hanno dato una risposta affermativa anche in questo senso.

Nel 1955 Abell pubblicava un elenco di tredici ammassi globulari scoperti col grande telescopio Schmidt di Mount Palomar. Osservazioni successive di alcuni di essi mostravano che erano distantissimi, di gran lunga al di fuori della Galassia. Dunque negli spazi intergalattici si possono incontrare non solo piccole galassie ma anche agglomerati di stelle minori, come gli ammassi globulari.

E si possono incontrare, sparse qua e là, anche stelle isolate. La loro esistenza è stata provata dalla scoperta di stelle blu ad alta luminosità intrinseca ma di debole splendore apparente, osservate a elevate latitudini galattiche. È evidente che se tali stelle, come è dimostrato dal colore, sono intrinsecamente luminosissime ma appaiono tanto deboli, ciò può essere causato solo dalla loro enorme distanza. Tenendo presente che la nostra Galassia è un sistema estremamente schiacciato, e che noi ci troviamo in prossimità del suo piano equatoriale, è chiaro che, dal momento che sono state viste nella direzione del minimo spessore della Galassia, la loro elevata distanza le colloca al di là dei suoi confini. Naturalmente, pur essendo stelle extragalattiche, sono ancora relativamente vicine alla Galassia. Ma nulla ci costringe a escludere l'esistenza di altre più lontane, che non vediamo solo perché il loro splendore apparente è tanto ridotto dalla distanza che nessuno dei nostri telescopi attuali riesce a rivelarle.

Anzi, la loro presenza viene suggerita non solo da questa estrapolazione ma anche da un'altra interessantissima scoperta: quella dei ponti intergalattici. L'esistenza di un ponte di stelle tra due galassie è già, di per sé, la prova migliore della presenza di stelle nello spazio intergalattico. Si potrebbe pensare che questo sia un caso molto particolare in cui lo spazio intergalattico perde una gran parte del suo significato originario: dopo tutto quando parliamo di spazio intergalattico pensiamo istintivamente più a quello tra la Galassia ed M 31 che non a quello tra la Galassia e le Nubi di Magellano. Sia pure. Ma col passare del tempo le due galassie collegate dal ponte di stelle si allontanano sempre di più e la maggior parte delle stelle del ponte rimane isolata da entrambe e si disperde nello spazio intergalattico. Dunque, dal momento che esistono ponti tra le galassie, devono esserci anche stelle sparse provenienti dalla disgregazione di quelli esistiti in passato, tra galassie ormai distantissime l'una dall'altra.

Come negli spazi intergalattici esistono ammassi e stelle, così si potrebbe

pensare che vi siano anche gas e polveri. Secondo Zwicky esistono prove anche in questo senso. La più convincente è basata sui conteggi di galassie componenti ogni ammasso. Zwicky ha provato che, quando si contano le galassie più deboli (e quindi più lontane), viene un momento in cui il fondo del cielo intorno all'ammasso si rivela più ricco della zona centrale dell'ammasso stesso. Ciò prova la presenza di un certo quantitativo di polvere, in seno all'ammasso, capace di oscurare o rendere addirittura invisibili molte delle galassie situate in quella direzione.

La presenza di polvere intergalattica sembrò anche confermata clamorosamente e inaspettatamente, una decina di anni fa, dall'astronomo tedesco C. Hoffmeister, nel corso di una ricerca sulle variabili di tipo RR Lyrae, lontane dal piano dell'equatore galattico. Per mettere in evidenza eventuali assorbimenti interstellari, cioè in seno alla nostra stessa Galassia, egli aveva deciso di studiare anche la distribuzione delle galassie presenti nello stesso campo. Esaminando una regione nella costellazione del Microscopio, rilevava l'esistenza di una zona irregolare di circa 20 gradi quadrati in cui erano presenti appena cinque galassie, in luogo delle ventitrenta che si attendeva. Nella stessa zona, d'altra parte, l'abbondanza delle stelle RR Lyrae permaneva normale. Questo fatto provava che tra queste e le lontanissime galassie dello sfondo vi doveva essere una nube oscura. Dato che le RR Lyrae sono distribuite in seno alla Galassia fino a grandi distanze, il fatto che la nube non influiva sul loro numero significa che doveva essere considerata al di là di esse, cioè fuori della Galassia. Tenendo conto della sua notevole estensione apparente si giunge a concludere che, anche nell'ipotesi che sia molto vicina alla Galassia, come avviene per le Nubi di Magellano, deve avere un diametro di almeno 40 000 anni luce.

È stata dunque scoperta un'intera galassia nera, forse composta addirittura da stelle nere, completamente spente? No. Non vogliamo affermare tanto e anzi possiamo senz'altro precisare che, se una galassia simile esistesse, non potremmo scoprirla, almeno con questo sistema, poichè non provocherebbe il minimo assorbimento, dato che la luce dei corpi dello sfondo ci raggiungerebbe ugualmente passando tra l'una e l'altra delle stelle oscure che, anche se fossero in numero grandissimo, occuperebbero sempre un volume piccolissimo rispetto a quello totale del vuoto che le separa.

Ben diversamente vanno le cose con i granelli di polvere, molto più piccoli delle stelle ma di gran lunga più numerosi. In tal caso, su una profondità elevata, l'assorbimento diviene sensibile.

Anche l'immensa nube oscura indicata da Hoffmeister, se veramente esiste (cosa che da recenti osservazioni è stata messa in dubbio), deve essere composta essenzialmente di polvere, tanto più che, in ogni caso, non dovreb-

be contenere gas, dal momento che non è stato rivelato dai radiotelescopi.

Nubi di gas intergalattico sembrano però ugualmente esistere. Secondo ricerche di Sargent e L. Searle pubblicate alla fine del 1970, due oggetti, segnalati come galassie compatte da Zwicky, sono, in realtà, dense nubi di idrogeno neutro isolate nello spazio intergalattico, distanti da noi 24 000 000 di anni luce. I loro diametri sono inferiori al migliaio di anni luce (rispettivamente 825 e 650); la massa della seconda, dalle osservazioni radio, ammonta a 230 000 000 di volte quella del Sole. Gli spettri hanno mostrato le righe tipiche delle nebulose gassose ad alta eccitazione. Somigliano dunque alla Nebulosa della Tarantola, che avevamo incontrato nella Nube di Magellano Maggiore, e come questa devono contenere un gran numero di stelle di tipo 0, ad altissima temperatura, responsabili dell'eccitazione. Sempre nella seconda si ritiene che ve ne siano da mille a centomila. Osservazioni infrarosse, appositamente eseguite da G. Neugebauer, hanno permesso di escludere un contributo sensibile alla luminosità da parte di stelle rosse che devono costituire, semmai, un'esigua minoranza. Si tratta quindi di due zone di gas isolate, contenenti un altissimo numero di stelle 0, di grande massa, giovanissime. Ecco dunque un'altra categoria di oggetti che conoscevamo solo come componenti di una galassia, presentarsi isolata nello spazio intergalattico. Si tratta, è vero, di oggetti eccezionalmente grandi ma la loro presenza non esclude, anzi induce ad ammettere, l'esistenza di altri oggetti simili, più piccoli e meno luminosi che a noi sfuggono solo per difetto d'osservazione.

Galassie nane, galassie compatte, ammassi, stelle isolate, nubi di gas e forse perfino nubi di polvere più o meno dense: questo è dunque ciò che una ricerca più approfondita ci ha condotto a scoprire, in quello spazio intergalattico apparso completamente vuoto solo a un primo, debole sguardo. Naturalmente ciò non significa che la densità media della materia nello spazio intergalattico sia elevata o confrontabile, comunque, con quella media all'interno di una galassia. Tutt'altro! Benché non se ne possa avere ancora un'idea precisa, vi sono fondati motivi per ritenere che sia relativamente esigua. I corpi che ci sfuggono sono solo i più deboli o i meno estesi, in ogni caso quelli composti da una minor quantità di materia e, d'altra parte, il volume occupato dallo spazio tra le galassie è enorme, anche rispetto a quello di tutte le galassie messe insieme.

Il problema della densità media dello spazio è uno dei più importanti della moderna astrofisica ed è tuttora ampiamente dibattuto. Ma anche se si scoprissero in gran quantità masse nascoste, perché sfuggenti nelle forme che solo da pochi anni si sono cominciate a rivelare, ben difficilmente potrebbero giungere a essere tali da alzare in modo sensibile la bassissima densità media dello spazio intergalattico. Così, anche se abbiamo scoperto che tra la Galassia e M 31 ci sono alcune galassie nane, diversi ammassi e

un numero imprecisabile di stelle, dobbiamo ragionevolmente concludere che, a causa della piccolezza e delle immense distanze che li separano, non potremmo vedere questi oggetti a occhio nudo, a meno di non essere nelle loro vicinanze. La reale visione dello spazio intergalattico resta dunque quella iniziale: una mostruosa voragine oscura, che può darci solo la sensazione del nulla, sulla quale si staccano due o tre debolissimi fiocchetti luminosi: le galassie più brillanti e più vicine.

Immaginiamo di trovarci su un pianeta appartenente a una stella tra la Galassia e la Nebulosa di Andromeda. Al tramontare del sole, se nessun satellite rischiarerà la notte, si schiuderà sulle nostre teste un cielo buio e vuoto che renderà buio e vuoto anche il paesaggio intorno a noi. È la visione che avevamo avuto uscendo dalla Galassia, ma ora la subiamo poggiando i piedi su un suolo solido, su un suolo che non vediamo, così come non vediamo i nostri piedi che lo premono o le nostre mani che tentiamo invano di distinguere portandole avanti ai nostri occhi sbarrati. Ecco come sono diventati lo spazio intorno a noi e il cielo al di sopra delle nostre teste, al calar della notte! La volta azzurra, trasparente, eterea, è diventata sempre più scura, più cupa e infine nera, impenetrabile, dura come la volta di una caverna.

Quando siamo usciti dalla Galassia, questa era stata una visione fantastica che pensavamo avrebbe avuto solo un ipotetico astronauta che avesse viaggiato tra due distantissime galassie, in uno spazio in cui non avrebbe incontrato nessuna stella. E ora sappiamo invece che una simile stella esiste e che forse vi sono esseri che non hanno mai conosciuto la bellezza del cielo stellato.

X

Ai limiti del tempo e dello spazio

LE GALASSIE SI MUOVONO

Fino a questo momento abbiamo parlato delle galassie come se fossero tutte immobili nello spazio. In verità è ormai ben noto che tutti i corpi si muovono. Πάντα ῥεῖ diceva Eraclito, duemila e cinquecento anni fa: tutto scorre. E le scoperte successive hanno confermato sempre di più questa verità, proclamata dagli antichi filosofi. Si muove la Terra intorno al proprio asse, la Luna intorno alla Terra, Luna e Terra intorno al Sole, pianeti e satelliti ruotano e si spostano come la Terra e la Luna; si muove tutto il sistema solare nello spazio; pulsano le stelle, si espandono le nebulose, errano e si disgregano gli ammassi di stelle; ruota l'intera Galassia e ruotano o si espandono tutte le altre galassie. Tutto l'universo, dall'atomo all'uomo, dal pianeta alla Galassia, è agitato da un continuo movimento. Tutto passa, cambia, diviene. Non c'era dunque nessun motivo per ritenere che le galassie dovessero fare eccezione e, pur essendo composte da un numero enorme di corpi in movimento, fossero, nel loro complesso, unità statiche, perfettamente immobili nello spazio.

D'altra parte, ora che sappiamo quanto è grande la distanza delle galassie, possiamo rinunciare senz'altro a sperare di rilevarne lo spostamento apparente sulla volta celeste anche per quelle a noi più vicine e anche confrontando fotografie ottenute a distanza di decine o (quando lo potremo) di centinaia d'anni.

Esiste tuttavia un metodo per scoprire almeno quella parte del loro moto spaziale che avviene nella direzione della nostra visuale. È lo stesso già sfruttato ampiamente per le stelle: l'osservazione dello spostamento delle righe spettrali per effetto Doppler, dalla cui entità si risale, appunto, alla velocità radiale, cioè alla velocità del corpo nella direzione della retta