

Girandole cosmiche

Claudio Elidoro

INAF · Osservatorio Astronomico di Bologna

FACILE ai nostri giorni dire che cos'è una galassia. Abituati alle fantastiche immagini del cielo profondo che i telescopi terrestri e quelli in orbita riescono oggi a consegnarci, ci sembra quasi impossibile che, neppure un secolo fa, il concetto di galassia fosse non solo incredibilmente lontano dal nostro, ma anche terribilmente vago. Quando, alla fine del XVIII secolo, Friedrich Wilhelm Herschel (1738-1822) volle provare a dare una descrizione sistematica della volta celeste e cominciò a compilare i suoi cataloghi di oggetti del cielo profondo, si imbatté in nebulosità che, per la loro forma, decise di classificare come *nebulose a spirale*. (FIG. 1) Tra di esse figurava anche la nebulosa di Andromeda, da lui ritenuta la più vicina tra quelle strane nebulosità celesti. Secondo le sue valutazioni, quella macchia lattiginosa – la cui esistenza era stata segnalata fin dal 964 dall'astronomo persiano Abd al-Rahman al-Sufi (903-986) – si trovava a una distanza pari a 2000 volte la distanza di Sirio. Facendo due conti, tale distanza corrisponderebbe a 17200 anni luce, un valore che risulta decisamente più basso di quello noto ai nostri giorni. Oggi, infatti, sappiamo che la galassia di Andromeda, nota anche come M31, si trova a due milioni e mezzo di anni luce da noi, dunque è 145 volte più distante di quanto pensasse Herschel.

Il famoso *Grande Dibattito* che, il 26 aprile 1920, vide contrapporsi il punto di vista di Harlow Shapley (1885-1972) ed Heber Curtis (1872-1942) riassume egregiamente l'incertezza che a quel tempo regnava tra gli astronomi. L'idea di Shapley era che la Via

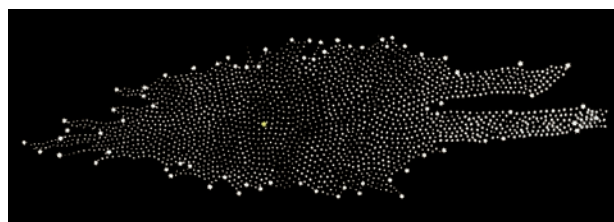


FIG. 1. Usando le osservazioni effettuate con il suo telescopio da 48 pollici (1,2 m), Herschel provò anche a ricostruire l'aspetto della Via Lattea. Ipotizzando che tutte le stelle avessero la medesima luminosità, risalì alle loro distanze e tracciò la possibile mappa del nostro sistema stellare. Secondo Herschel la Via Lattea era piatta e il Sole si collocava in prossimità del centro della distribuzione delle stelle.

Lattea costituisse la totalità dell'universo e che le nebulose a spirale come quella di Andromeda fossero semplicemente parte di essa. Di diverso avviso era Curtis, il quale riteneva che quelle nebulose fossero entità separate dalla Via Lattea, dunque galassie in tutto e per tutto uguali alla nostra.

La situazione divenne decisamente più chiara cinque anni più tardi, quando Edwin Hubble (1889-1953) identificò alcune *Cefeidi* sulle lastre fotografiche della Nebulosa di Andromeda acquisite all'Osservatorio di Monte Wilson. Grazie all'intuizione e agli studi di Henrietta Swan Leavitt (1868-1921), si sapeva che per le variabili Cefeidi esisteva una relazione tra il periodo e la luminosità, un legame talmente stretto che, misurato il periodo di pulsazione di queste stelle, si era in grado di determinarne la luminosità e dunque risalire alla distanza alla quale si trovavano. Fu la prova definitiva che la nebulosa di Andromeda era troppo distante perché si potesse ancora sostenere che fosse parte della Via Lattea.

Una volta chiarito che le galassie erano sistemi stellari autonomi, ma in tutto e per tutto simili alla Via Lattea, si cominciò a studiarne le dinamiche. Applicando alle osservazioni spettroscopiche quanto si conosceva dell'effetto Doppler, si riuscì a scoprire che si era in presenza di immense girandole cosmiche, con stelle e nubi di gas intente a inanellare le loro orbite intorno alle regioni centrali che, vista la loro maggiore luminosità, dovevano logicamente

* Questa rubrica si propone di presentare in modo sintetico e, per quanto possibile, autoconsistente argomenti che stanno alla base della conoscenza astronomica, spesso trascurati nella letteratura divulgativa, in quanto ritenuti di conoscenza generale oppure troppo difficili o troppo noiosi da presentare ad un pubblico non specialistico. Questi "fondamenti di astronomia", volutamente trattati in uno spazio limitato, possono essere letti a due livelli; eventuali approfondimenti per i lettori che desiderino ampliare la conoscenza dell'argomento vengono esposti in carattere corsivo e incorniciati. Si suggerisce questa rubrica, quindi, a studenti dei vari tipi e livelli di scuole. Le *Spigolature astronomiche* si possono trovare anche in rete, nel sito Web del «Giornale di Astronomia», <http://giornaleastronomia.difa.unibo.it/giornale.html>.

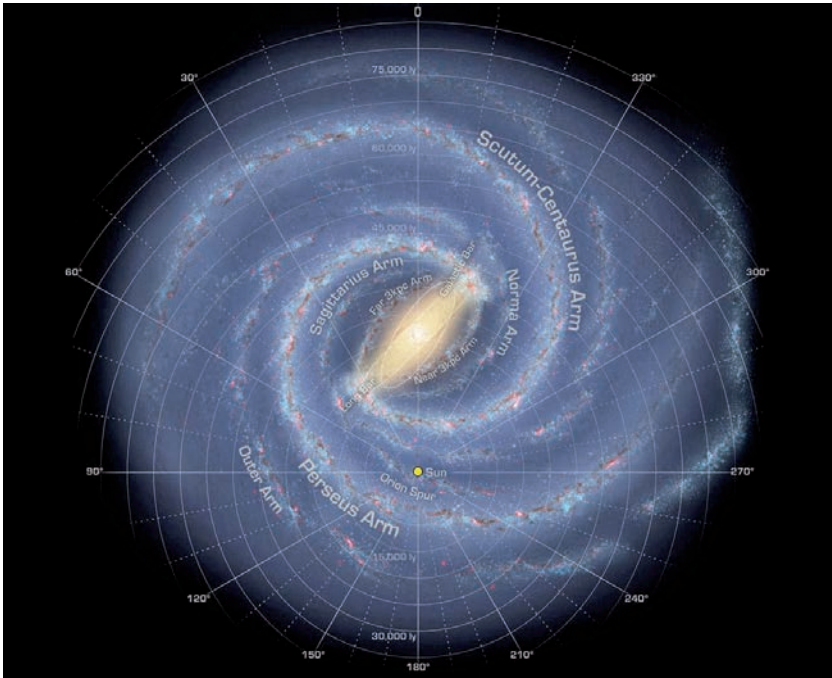


FIG. 2. Ricostruzione dell'aspetto della Galassia suggerito dalle più recenti osservazioni terrestri e satellitari. A differenza di quanto si ipotizzava ai tempi di Herschel, oggi sappiamo che il Sole occupa una posizione piuttosto marginale: si trova infatti nei pressi del bordo interno del Braccio di Orione, a circa 25 mila anni luce dal centro galattico. [NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech); Fonte: www.jpl.nasa.gov/images/wise/20150603/spitzer20150603-16.jpg]

essere più ricche di materia. Trattando quel moto secondo i dettami delle leggi di Keplero si riuscì a determinarne le caratteristiche salienti. L'unico problema poteva essere che, a differenza del Sistema solare nel quale la massa centrale era ben definita e circoscritta (il Sole), nel caso delle galassie si doveva tener conto di una distribuzione di massa. Tutto sommato, però, considerando orbite sufficientemente distanti dal centro, si poteva ritenere che, ormai, larga parte della materia delle galassie fosse al loro interno. Dunque ci si poteva aspettare che le dinamiche del sistema stellare finissero col riprodurre quanto si poteva osservare nel caso dei pianeti del Sistema solare. Gli astronomi, insomma, si aspettavano il tipico andamento di un moto kepleriano, con le velocità orbitali che diminuivano sempre di più man mano che le orbite diventavano più ampie.

Negli anni Settanta, però, gli astronomi statunitensi Vera Rubin (1928-2016) e W. Kent Ford Jr. (1931-) si imbarcarono in una scoperta davvero clamorosa. Le loro misurazioni dei moti stellari della Via Lattea indicavano che, anche a grandi distanze, le velocità delle stelle rimanevano approssimativamente sempre le stesse. E non si trattava di un'anomalia esclusiva della Via Lattea: lo stesso fenomeno, infatti, lo si riscontrava in ciascuna delle sessanta galassie prese in esame dai due astronomi. Era come se, per la loro azione gravitazionale, quelle galassie facessero affidamento non solo sulla materia visibile, ma anche su un'altra componente che non solo non era possibile rilevare, ma che sembrava diventare sempre più importante man mano ci si allontanava dai confini apparenti della galassia.

Appariva così un indizio concreto che, oltre alla materia ordinaria (chiamiamola pure luminosa, visto che è individuabile con osservazioni delle emissioni elettromagnetiche), doveva esistere anche un altro tipo di materia che lasciava un'impronta gravitazionale ma risultava completamente invisibile a ogni osservazione. Non era questa la prima apparizione di quella che, ai nostri giorni, siamo ormai abituati a chiamare "materia oscura", in quanto, già negli anni Trenta l'astronomo svizzero, naturalizzato statunitense, Fritz Zwicky (1898-1974), applicando per primo il teorema del viriale all'ammasso di galassie nella costellazione della Chioma di Berenice (*Coma cluster*) aveva ipotizzato la presenza di una grande quantità di materia che non si riusciva ad osservare, chiamandola per questo *dunkle Materie* (*dark matter*, materia oscura); le stime di Zwicky erano, tuttavia, di gran lunga superiori ai valori ottenuti successivamente.

Pur nell'estrema difficoltà di dover effettuare osservazioni della Via Lattea standoci all'interno, gli astronomi sono comunque riusciti a farsi un'idea piuttosto dettagliata della struttura del nostro sistema stellare. L'impiego di osservazioni radio e infrarosse, per esempio, ha permesso di squarciare il velo costituito dalle nubi di polvere e gas che ci nascondono le sue regioni più interne, svelandoci che, proprio nel centro della Via Lattea, alberga un gigantesco buco nero chiamato Sgr A* (Sagittarius A-star). Lo studio del moto delle stelle che gli ronzano intorno ci ha consentito di stimare che la sua massa ammonta a oltre quattro milioni di masse solari.

Oggi sappiamo che l'aspetto e le caratteristiche salienti della Via Lattea la rendono incredibilmente simile alle altre galassie a spirale che punteggiano il cielo. In poco meno di cent'anni, dunque, da unico sistema stellare dell'intero universo la nostra Galassia è diventata uno dei tantissimi universi isola (espressione ideata nel XVIII secolo dal filosofo Immanuel Kant) che popolano il Cosmo. (FIG. 2)

*Dopo aver annunciato nel 1609 le prime due leggi che governavano il moto dei pianeti del Sistema solare nel suo *Astronomia nova*, ci vollero altri dieci anni prima che Johannes Kepler (1571-1630), nel capitolo conclusivo del suo trattato *Harmonices Mundi*, completasse il suo mirabile trittico enunciando la terza legge. Tale legge afferma che il quadrato del tempo che un pianeta impiega a percorrere*

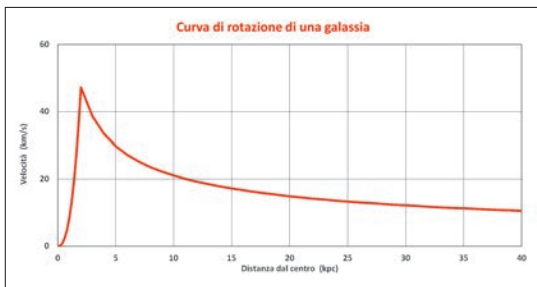


FIG. 3. Curva di rotazione di una galassia per la quale è stata ipotizzata una massa di un miliardo di masse solari e raggio-limite di 2 kpc.

re la sua orbita è proporzionale al cubo della sua distanza media dal Sole.

Indicando con k la costante di proporzionalità, otteniamo:

$$T^2 = ka^3 \quad (1)$$

Per definire il corretto valore della costante di proporzionalità, dobbiamo chiamare in causa la Legge di gravitazione universale e la forza centrifuga sperimentata da un pianeta. Considerando la massa del Sole assolutamente preminente – dunque evitando di addentrarci in valutazioni più raffinate, indispensabili, per esempio, se le orbite di cui parliamo sono quelle di due oggetti celesti di massa confrontabile – possiamo scrivere che la forza gravitazionale (F_G) e la forza centripeta (F_C) valgono rispettivamente:

$$F_G = \frac{GM_S m_p}{a^2} \quad (2)$$

$$F_C = m_p \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 a \quad (3)$$

dove: M_S e m_p indicano, rispettivamente, la massa del Sole e quella del pianeta, a è il semiasse maggiore dell'orbita, T il periodo orbitale e G la costante di gravitazione universale.

Uguagliando le due espressioni e semplificando, possiamo ottenere il sospirato valore della costante:

$$k = \frac{4\pi^2}{GM_S} \quad (4)$$

Se ora inseriamo questo valore nella (1) e ricordiamo che, nel moto circolare, il periodo T può essere espresso in funzione della velocità v e del raggio dell'orbita a secondo l'espressione

$$T = \frac{2\pi a}{v} \quad (5)$$

con qualche semplificazione possiamo giungere all'espressione che descrive la velocità orbitale (media) del pianeta intorno al Sole. Otteniamo cioè:

$$v = \sqrt{\frac{GM_S}{a}} \quad (6)$$

Pensando più in grande, proviamo ad applicare questa legge a una galassia con l'obiettivo di valu-

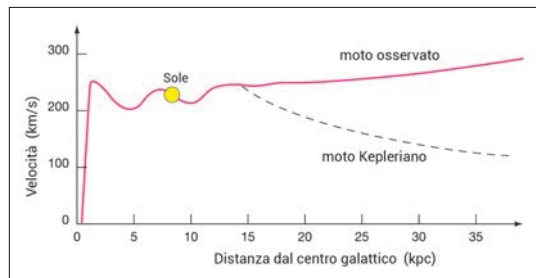


FIG. 4. Curva di rotazione della Via Lattea. Invece della diminuzione delle velocità previste dal moto kepleriano, i valori rimangono pressoché costanti anche a grandi distanze.

tare l'entità del moto delle sue stelle man mano ci allontaniamo dal suo nucleo.

Per semplificare i calcoli è necessario introdurre alcune notevoli restrizioni sul modello di galassia che intendiamo considerare, sacrificando per esempio la sua reale struttura a disco con rigonfiamento centrale e la presenza di bracci di stelle e gas che ne tracciano la splendida spirale. Possiamo, per esempio, immaginare che la distribuzione di materia abbia una simmetria sferica e, pertanto, che esista uno stretto legame tra la massa compresa entro una sfera di dato raggio e il raggio stesso. Esisterà, però, una sorta di raggio-limite oltre il quale la quantità di materia diventerà insignificante; in altre parole, tutta la massa della galassia sarà praticamente contenuta entro quel raggio-limite. Chiamando r_0 questo raggio-limite possiamo vedere che, per valori inferiori, la massa della galassia contenuta all'interno di r_0 può essere descritta da una funzione del tipo:

$$M(r) = M_{gal} \left(\frac{r}{r_0} \right)^3 \quad (7)$$

Se ora, per comodità, diamo in pasto i calcoli della velocità espressa dalla (6) a un foglio di Excel imponendo che, al variare della distanza dal centro della galassia, la massa sia data dalla (7) fino alla distanza r_0 e poi rimanga costante, possiamo ottenere un grafico del tipo di quello in FIG. 3.

L'aumento iniziale delle velocità (fino a 2 kpc dal centro) è una conseguenza dell'aumento della massa che governa quel moto. Ricordiamo infatti che, per il teorema di Gauss, importa solamente la materia che si trova all'interno della sfera. Raggiunto però il raggio-limite, si osserva il tipico andamento di un moto kepleriano: ormai la massa che governa il moto è costante e, all'aumentare della distanza dal centro della galassia, la velocità delle stelle diminuisce. Insomma, proprio l'andamento che si aspettavano di trovare Vera Rubin e Kent Ford nel loro studio dei moti stellari. Quello che trovarono, però, può essere riassunto nell'immagine di FIG. 4.

Oltre alla materia oscura, sono state avanzate altre possibili spiegazioni per giustificare la stra-

rezza delle curve di rotazione delle galassie. Per esempio la teoria MOND – Modified Newtonian Dynamics – suggerita dal fisico israeliano, di origine rumena, Mordehai Milgrom (1946-), che si fonda su particolari aggiustamenti della dinamica newtoniana (l'argomento è stato affrontato nella Spigolatura pubblicata sul «Giornale di Astronomia», n. 1, p. 52, del 2011).

Negli ultimi tempi, però, soprattutto grazie alle osservazioni delle grandi strutture cosmiche (ammassi e superammassi di galassie), gli astronomi hanno raccolto altri indizi estremamente significativi dell'esistenza della materia oscura. Rimane sempre aperta, comunque, la grande sfida della sua individuazione diretta e della comprensione della sua profonda natura.

Claudio Elidoro si è laureato in Astronomia presso l'Università di Bologna con una tesi riguardante i Corpi minori del Sistema solare e si è diplomato al Master in Comunicazione Scientifica presso l'Università di Milano. È insegnante di matematica in una scuola professionale di Cremona e svolge attività di divulgazione astronomica scrivendo articoli per riviste del settore. Ha curato la prima parte della versione *online* delle Spigolature Astronomiche. Nel dicembre 2006 il Minor Planet Center ha assegnato il suo nome all'asteroide (43956) Elidoro.