

Struttura iperfina della Via Lattea a 1420 MHz

¹ IARA, SdR RadioAstronomia UAI, Astronomia Valli del Noce, Società Italiana di Fisica, IMO

Abstract

The purpose of this work is to obtain the curve of rotation of the Milky Way, to map the spiral structure of the Galaxy in the I and II quadrant with a thin division and to determine the integral mass; all this is done through the study of the galactic hydrogen concentration.

The data, obtained by the radio telescope Salsa Onsala in Sweden, refer to several observations done between December 2012 and April 2013. For the elaboration of those data, which were the spectrum of the radiation, the software SalsaJ was used.

The result of this study confirms that the matter velocity, far away from the galactic center, does not decrease, but remains the same. The distribution of the hydrogen is not uniform: it is concentrated in filamentary structures, which are considered an evidence of the presence of a spiral structure. And the mass of the Galaxy is confront with historical data.

Introduzione

La Via Lattea appare ai nostri occhi come una fascia di luce biancastra che percorre trasversalmente l'intera volta celeste: una regione di cielo dove si addensa un numero di stelle maggiore rispetto alle altre. Numerose interruzioni nella sua continuità sono causate dalla presenza in più punti di nebulose oscure e polveri che oscurano la luce delle stelle situate dietro di esse. Il tratto più luminoso ricade nei pressi della costellazione del Sagittario, ossia in direzione del centro galattico.

Le stelle appartenenti alla Via Lattea sembrano essere, secondo studi recenti, almeno 200 miliardi [1]. Esse sono disposte secondo una struttura a disco, in rotazione attorno al proprio asse, poco spessa rispetto alla sua estensione, e circolare. Il disco stellare della Via Lattea ha uno spessore di 1.000 anni luce e un diametro di 100.000 anni luce.

In corrispondenza del centro galattico è presente un oggetto di massa molto elevata. Un grande numero di studiosi lo considera la causa della forte emissione radio registrata in corrispondenza di una sorgente nota come Sagittarius A. Poiché l'emissione di queste onde sembra essere una caratteristica dei cosiddetti buchi neri, si ipotizza che il centro galattico sia costituito da un buco nero super massiccio, denominato Sgr A*. Probabilmente anche molte altre galassie hanno al loro centro oggetti di questo tipo [2].

Partendo dal nucleo centrale, si estendono, fino alla periferia della Galassia, i bracci a spirale, disposti in una struttura a disco [3]. Ogni braccio, costituito da una lunga e diffusa corrente di stelle, descrive una spirale logaritmica, con un'inclinazione di circa 12 gradi [4]. Possiamo distinguere 6 bracci [5]. Il disco galattico è poi circondato da un alone sferoidale formato prevalentemente da ammassi globulari, il 90% dei quali si trovano entro un raggio di 100 000 anni luce [6].

La maggior parte della materia della Galassia sembra essere composta da materia oscura. Questa è un tipo di materia presente nell'universo non osservabile, ma è comunque rilevabile per i suoi effetti gravitazionali.

Il Sole e tutto il Sistema Solare, quindi anche la Terra, si trovano nella Nube Interstellare Locale, che a sua volta si trova dentro la Bolla Locale [7], la quale è dentro la Cintura di Gould situata nei pressi del bordo interno del Braccio di Orione, ad una distanza di circa 7.62 ± 0.32 kpc (kiloparsec 1 parsec=3.26 anni luce) dal centro galattico[8]. Il Sole, insieme a tutti i pianeti del sistema solare, si muove nella galassia compiendo un'orbita completa (anno galattico) in 225-250 milioni di anni [9]. La velocità orbitale della nostra stella è di circa 220 km/s [10].

Gli scopi del presente lavoro sono quelli di ricavare la curva di rotazione della Via Lattea, la nostra Galassia, di mappare la struttura a spirale della Galassia stessa e di determinare la massa integrale, cioè la massa contenuta in gusci concentrici, in particolare in corrispondenza del Sole attraverso lo studio della concentrazione di idrogeno galattico, elemento più abbondante presente nell'universo e dislocato sui bracci delle galassie a spirale.

Sistema di coordinate

Per descrivere la posizione di una stella o di una nube di gas nella Galassia, è conveniente usare il cosiddetto sistema di coordinate galattiche (l , b) dove l è la longitudine galattica e b la latitudine galattica. Il sistema di coordinate galattiche è centrato nel Sole. $b = 0^\circ$ corrisponde al piano galattico [11]. La direzione $b = 90^\circ$ è chiamato Polo galattico nord. La longitudine l è misurata in maniera antioraria dalla direzione del Sole - centro galattico. Il centro galattico ha dunque coordinate ($l = 0$; $b = 0$).

L'idrogeno galattico

L'universo è composto in minima parte da pianeti e corpi celesti, la maggior parte della galassia è composta da gas (molecole, atomi, ioni) che forma la materia

interstellare. Tra i vari elementi presenti nello spazio il più comune è l'idrogeno atomico HI [12]. L'idrogeno atomico ha una massa stimato in $\sim 4.8 \times 10^9 M_{\odot}$ (masse solari) che corrisponde a una densità media di 0.4 atomi per cm^3 [13].

L'idrogeno atomico è l'atomo più semplice: è formato solo da un protone e da un elettrone. Quando lo spin dell'elettrone passa da essere parallelo (ortoidrogeno) ad antiparallelo (paraidrogeno) rispetto allo spin del protone, l'atomo è portato ad uno stato energetico inferiore [14]. L'energia rimanente è emessa sotto forma di fotoni alla lunghezza d'onda $\lambda = 21 \text{ cm}$ o una frequenza $f = c/\lambda = 1420.40575 \text{ MHz}$, dove c è la velocità della luce pari a circa 300000 km/s [15].

La possibilità che la transizione dell'elettrone avvenga è molto bassa, circa 1 volta ogni 10 milioni di anni, ma l'enorme quantità di idrogeno nella Galassia fa sì che la linea 21 cm sia rilevabile.

Effetto Doppler

I corpi che compongono la Via Lattea non sono fermi: essi ruotano intorno al centro galattico. Tutti gli oggetti osservati dalla Terra sono dunque in movimento rispetto ad essa, che a sua volta si sta muovendo. In conseguenza di ciò, anche l'onda emessa dall'idrogeno viene shiftata: la frequenza osservata è diversa da quella realmente emessa dalla sorgente. I radioastronomi usano l'effetto Doppler per calcolare la velocità con la quale si muovono gli oggetti celesti rispetto alla Terra. L'idrogeno, a causa di tale effetto, viene traslato orizzontalmente permettendoci di capire se il corpo si muove nella nostra direzione o in direzione opposta. È possibile mettere in relazione la frequenza con la velocità attraverso l'effetto Doppler [16].

Quando si vuole osservare la linea a 21 cm dell'idrogeno lungo la longitudine galattica, è necessario sintonizzare il ricevitore del radiotelescopio su una banda di frequenze vicina alla frequenza esatta della linea dell'idrogeno. Questo permette di trovare nubi di idrogeno con differenti velocità che emettono alla frequenza di 1420 MHz anche se la frequenza è shiftata quando la si cerca, dipendendo dal fatto che la nube di gas che si osserva si sta avvicinando o allontanando [17].

Il radiotelescopio SALSA-Onsala

Salsa-Onsala è un radiotelescopio del diametro di 2,3 m costruito dall'Onsala Space Observatory, Chalmers University of Technology in Svezia [18], azionabile a distanza attraverso internet da chiunque. La sensibilità del ricevitore permette di individuare l'emissione radio dovuta alla linea spettrale dell'idrogeno alla lunghezza d'onda di 21 cm.

Attualmente ci sono due antenne a Onsala. Esse sono chiamate SALSA-2 e SALSA-3 [19]. Le due antenne sono collegate a due computer detti "Vale" e "Brage", pertanto le antenne sono anche indicate con i rispettivi nomi dei computer di controllo. I computer sono in esecuzione con sistema operativo Ubuntu Linux 10.04 e su di essi sono installati due software di controllo dei telescopi: QRadio e KStars.

Procedura di acquisizione dei dati

L'acquisizione dei dati è stata effettuata tramite la macchina virtuale remota sulla quale è installato il programma Qradio, che consente il controllo del radiotelescopio [11].

Il piano galattico è stato suddiviso in fasce in funzione del periodo di osservazione. L'ampiezza istantaneamente osservabile è di circa 130° . Lo spettro è stato rilevato per ognuno dei 180 gradi in cui è stato suddiviso il I e II quadrante. Ciò ha consentito una mappatura molto fine dell'idrogeno.

Dati ottenuti

Il piano galattico è stato osservato nel periodo che va da dicembre 2012 ad aprile 2013.

Tabella 1 – Dati ottenuti analizzando gli spetti.

l (°)	V _r (km/s)	l (°)	V _r (km/s)	l (°)	V _r (km/s)	l (°)	V _r (km/s)
0	-18.60	46	-18.36	82	-50.38	126	8.33
0	-25.43	46	-4.74	82	-10.56	127	-30.99
2	-12.80	46	26.76	83	-85.07	127	8.51
2	-29.46	47	-74.79	83	-50.54	128	-29.45
4	-13.80	47	-10.77	83	-11.06	128	8.83
5	-23.78	47	22.76	84	-84.26	129	-28.15
6	-14.18	48	-76.25	84	-50.36	129	9.17
7	-14.80	48	-16.71	84	-11.28	130	-25.48
8	-15.50	48	-4.48	85	-84.15	130	10.13
9	-15.90	48	24.88	85	-50.27	131	-70.05
10	-16.74	49	-75.58	85	-11.89	131	-55.47
11	-17.87	49	-10.72	86	-83.43	131	-24.56
12	-18.90	49	24.22	86	-51.54	131	9.90
14	-19.80	50	-75.43	86	-12.35	132	-22.74
15	-20.96	50	-10.07	87	-83.05	132	10.56
18	0.00	50	23.37	87	-51.85	133	-53.39
19	46.94	51	-75.42	87	-12.33	133	-21.14
20	-54.32	51	-10.38	88	-81.71	133	10.71
20	-25.42	51	22.46	88	-50.18	134	-19.84
20	-10.92	52	-75.52	88	-12.08	134	11.00
21	-24.54	52	-15.09	89	-81.34	135	-54.54
22	-26.11	52	-3.71	89	-53.31	135	-18.49
23	-26.61	52	19.47	89	-12.08	135	7.54
24	-25.41	53	-76.13	90	-79.94	135	16.03
25	-22.49	53	-15.49	90	-51.14	136	-53.03
26	-20.74	53	-3.21	90	-11.44	136	-16.72
27	10.03	53	18.91	91	-1.69	136	7.85
28	20.45	54	-77.81	92	-2.92	136	16.57
29	-25.78	54	-15.33	94	-1.72	137	-51.43
29	-69.31	54	-3.48	95	-0.95	137	-15.46

29	34.49	54	15.97	96	-1.33	137	8.40	42	2.85	76	-12.61	120	-37.61	162	12.77
29	2.91	55	-79.04	97	-2.24	137	18.73	42	28.35	77	-84.05	120	5.00	163	13.79
29	-24.05	55	-14.67	98	0.93	138	-49.21	43	-71.06	77	-12.16	121	-36.59	164	15.08
30	-67.09	55	3.84	99	1.82	138	-13.88	43	-18.73	78	-83.16	121	5.87	167	17.81
30	-48.94	56	-80.82	100	1.45	138	9.98	43	2.54	78	-10.73	122	-35.47	169	19.74
30	-19.66	56	-13.93	101	1.60	138	18.94	43	29.18	79	-83.81	122	6.51	170	20.66
30	8.12	56	-1.39	102	3.01	139	-49.46	44	-71.88	79	-49.44	123	-70.33	171	21.64
30	42.68	56	3.03	103	-39.4	139	-12.67	44	-18.49	79	-10.79	123	-35.02	172	22.6
31	-58.93	57	-81.91	103	2.26	139	13.51	44	-0.87	80	-83.95	123	6.84	173	23.61
31	-18.86	57	-9.36	104	-38.76	140	-11.29	44	29.63	80	-48.54	124	-33.45	175	25.35
31	8.10	58	-82.58	104	1.93	140	14.36	45	-74.23	80	-10.44	124	7.83	176	26.74
31	44.96	58	-6.21	105	-38.98	141	-15.73	45	-17.83	81	-84.74	125	-32.52	178	28.27
32	-66.16	59	-83.24	105	1.26	141	10.00	45	-6.19	81	-49.29	125	7.99	179	29.28
32	-18.40	59	-6.31	106	-38.96	141	19.49	45	29.72	81	-10.40	126	-31.7	180	30.41
32	9.88	60	-83.95	106	1.21	142	-13.77	46	-73.73	82	-84.48				
32	45.73	60	-6.92	106	-89.31	142	14.34								
33	-65.88	61	-85.46	107	-39.43	143	-11.69								
33	-17.08	61	-7.55	107	1.36	143	14.95								
33	8.76	62	-85.31	108	-88.02	144	-10.28								
33	46.17	62	-8.12	108	-39.90	144	14.79								
34	-63.31	63	-85.39	108	1.43	145	-31.77								
34	-16.39	63	-8.12	109	-88.75	145	-10.03								
34	12.05	64	-85.24	109	-40.15	145	15.14								
34	44.80	64	-8.33	109	2.14	146	-9.22								
35	-64.66	65	-84.67	110	-89.52	146	15.64								
35	-14.83	65	-9.24	110	-41.73	147	-9.10								
35	46.89	66	-84.53	110	0.84	147	16.94								
36	-67.27	66	-9.86	111	-88.3	148	-9.34								
36	-20.35	67	-83.52	111	-41.06	148	17.17								
36	43.88	67	-10.30	111	0.71	149	-8.50								
37	-69.17	68	-83.20	112	-87.33	149	17.87								
37	-20.93	68	-10.63	112	-40.75	150	-7.97								
37	-1.19	69	-82.70	112	1.29	150	17.71								
37	19.54	69	-11.12	113	-39.63	151	-5.90								
37	45.04	70	-82.85	113	1.97	151	18.75								
38	36.78	70	-11.38	114	-39.20	152	-5.83								
39	32.46	71	-82.18	114	2.87	152	17.20								
40	-68.35	71	-11.75	115	-39.05	153	-4.31								
40	-18.01	72	-82.79	115	3.21	153	21.42								
40	2.87	72	-12.17	116	-38.60	154	5.79								
40	29.21	73	-83.06	116	3.67	155	-1.68								
41	-68.72	73	-12.75	117	-38.24	156	-1.33								
41	-18.73	74	-83.81	117	4.04	156	23.56								
41	2.74	74	-13.02	118	-37.99	157	10.22								
41	30.03	75	-12.75	118	4.00	158	10.83								
42	-69.83	75	-83.62	119	-38.06	159	10.08								
42	-17.83	76	-84.03	119	4.60	161	12.71								

Procedura di analisi dei dati

SALSJAJ è un software astronomico che permette di lavorare su immagini e spettri astronomici in formato *fits* [20]. Con SALSJAJ si possono visualizzare gli spettri radio in diverse scale: intensità (misura arbitraria) sulle ordinate, mentre sulle ascisse si possono impostare varie scale (canale, velocità, frequenza, lunghezza d'onda). Impostando lo spettro con le scale intensità-velocità si può notare in modo più evidente l'effetto doppler, infatti il picco massimo del grafico, che indica la concentrazione dell'idrogeno, non avrà come ascissa lo 0, ma sarà leggermente spostato a destra o a sinistra e ciò indica un allontanamento o un avvicinamento della massa di gas.

I dati che servono per realizzare la mappa della Galassia sono le ascisse dei picchi, espresse in velocità (km/s), e le coordinate galattiche, latitudine e longitudine. Gli spettri che presentano del rumore confrontabile col segnale utile non sono stati presi in considerazione.

Procedura di elaborazione dei dati

Puntando il radiotelescopio in direzione di una nube di gas non è possibile osservare la velocità vera della nube (V) in quanto questa forma un angolo con la linea di vista. Si osserva dunque la cosiddetta velocità radiale, V_r , la proiezione della velocità della nube di gas lungo la linea di vista meno la velocità del Sole lungo tale direzione [11] [21] [22]:

$$V_r = V \frac{R_0}{R} \sin l - V_0 \sin l$$

dove:

- V_0 velocità del Sole intorno al centro galattico
- R_0 distanza del Sole dal centro galattico
- l longitudine galattica
- V velocità della nube di gas
- R distanza della nube di gas dal centro galattico
- r distanza della nube di gas dal Sole

Generalmente si osservano diverse componenti spettrali. La più grande componente della velocità $V_{r,max}$ deriva

dalla nube che si trova nel punto di tangenza T , dove si osserva l'intero vettore velocità lungo la linea di vista. Nel punto di tangenza si ha

$$\begin{cases} R = R_0 \sin l \\ V = V_{r,max} + V_0 \sin l \end{cases}$$

Osservando a differenti longitudini galattiche è possibile misurare $V_{r,max}$ a differenti valori di l . Ora è possibile calcolare R e V per ogni l , e disegnare la curva di rotazione $V(R)$ assumendo che il gas si trovi nei punti di tangenza e di conoscere R_0 e V_0 [11] [22] [23] [24] [25]. Per trovare la posizione del gas si presuppone una certa curva di rotazione $V(R)$. Così facendo si utilizzano tutte le componenti di velocità dello spettro. Ora si vuole trovare dove si trovano le nubi di gas rilevate. Come precedentemente affermato, si deve misurare V_r in differenti direzioni l della Galassia e assumere di conoscere R_0 e V_0 .

Dalla curva di rotazione della Galassia, si assume che il gas obbedisca a una legge di rotazione differenziale, cioè che la velocità di rotazione è costante per un definito raggio: $V(R) = costante = V_0$. Con semplici passaggi è possibile ottenere la distanza della nube:

$$R = \frac{R_0 V_0 \sin l}{V_0 \sin l + V_r}$$

Ora è possibile disegnare la mappa della Via Lattea, in quanto dalle misure di velocità radiale V_r è possibile calcolare la distanza R della nube dal centro galattico, conoscendo in quale direzione si è osservato (la longitudine galattica l) [11] [22] [23] [24] [26].

Si assuma che la maggior parte della massa della Galassia sia distribuita in componenti sferiche intorno al centro (la cosiddetta sfera di materia oscura), in tal modo è possibile calcolare la massa $M(<R)$ racchiusa all'interno di un certo raggio R [11] [22] [23] [24]:

$$M(<R) = \frac{V^2 R}{G}$$

dove G è la costante di gravità.

Risultati

Procedendo in ordine sequenziale, inizialmente è stata ottenuta la curva di rotazione della Galassia nel primo quadrante.

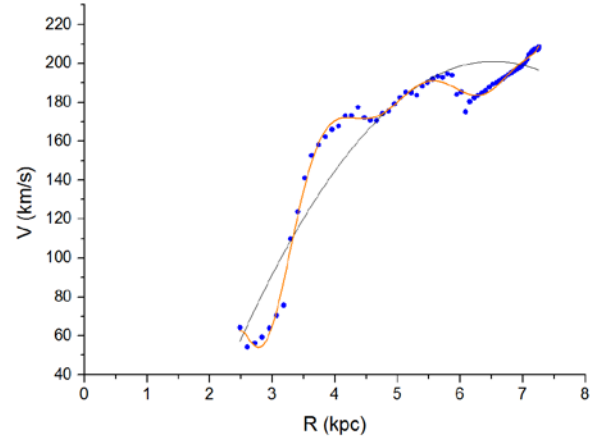


Figura 1. Curva di rotazione della Galassia ottenuta dai dati sperimentali (punti blu). La linea nera rappresenta l'interpolazione quadratica, mentre quella arancione un'interpolazione a molti picchi.

Il metodo utilizzato per determinare la curva di rotazione della Galassia ha dei limiti di utilizzo per longitudini inferiori a circa 20° , in quanto l'effetto doppler non è particolarmente apprezzabile. Inoltre il metodo per la stima della velocità massima non è utilizzabile per longitudini comprese tra 90° e 270° , in quanto in tali direzioni non sussiste più corrispondenza univoca fra velocità e distanza [11].

Interpolando con una funzione quadratica si ottiene la seguente relazione:

$$V = -8.76316 R^2 + 114.55746 R - 173.31921$$

Questa sembra essere in buon accordo con quella realizzata attraverso esperimenti condotti con medesime strumentazioni e parametri iniziali [22]. Tuttavia è da notare come i dati trovati presentino dei valori in media leggermente inferiori a quelli previsti. In realtà ciò è dovuto al fatto che i dati meno recenti consideravano dei parametri iniziali di R_0 e V_0 diversi da quelli attualmente accettati. Inoltre lo strumento utilizzato, benché costruito specificatamente per la rilevazione dell'idrogeno atomico, non può competere in precisione con strumenti professionali. Tali discrepanze si evidenziano soprattutto nella zona iniziale della curva, cioè entro i 4.5 kpc [22].

Per quanto concerne gli errori commessi, questi sono sostanzialmente riconducibili agli errori sui parametri iniziali R_0 e V_0 , non tanto sulla longitudine e latitudine di osservazione che risultano ininfluenti per la precisione stessa dello strumento confrontabile in secondi d'arco. Su R_0 si ha un errore percentuale del 4% [8], mentre su V_0 è in media del 5% anche se non è stata rilevata nessuna misura precisa. Dunque, approssimativamente, senza introdurre la teoria degli errori, è possibile affermare che nella migliore delle ipotesi le misure di velocità presentano un errore di circa ± 20 km/s. Questo senza contare gli inevitabili errori che a priori sono stati commessi nel valutare le velocità degli spettri, che comunque risultano essere in ogni caso decisamente inferiori.

Andando ad osservare più nel dettaglio la curva arancione, questa assomiglia alla curva di rotazione prevista dalla teoria delle onde di densità [22]. Questo è un indice della fondatezza dei risultati ottenuti.

Entrambe le curve di interpolazione sono state realizzate attraverso un programma specifico: Origin 9 [27].

Dopo aver ottenuto la curva di rotazione della galassia è stata disegnata la mappa radio della Via Lattea nella riga 21 cm dell'idrogeno. La tecnica utilizzata è stata quella di passare dal sistema di coordinate polare ($R; l$) in un sistema cartesiano ($x; y$) per facilitare la rappresentazione. Il grafico è stato realizzato utilizzando semplicemente un foglio di dati.

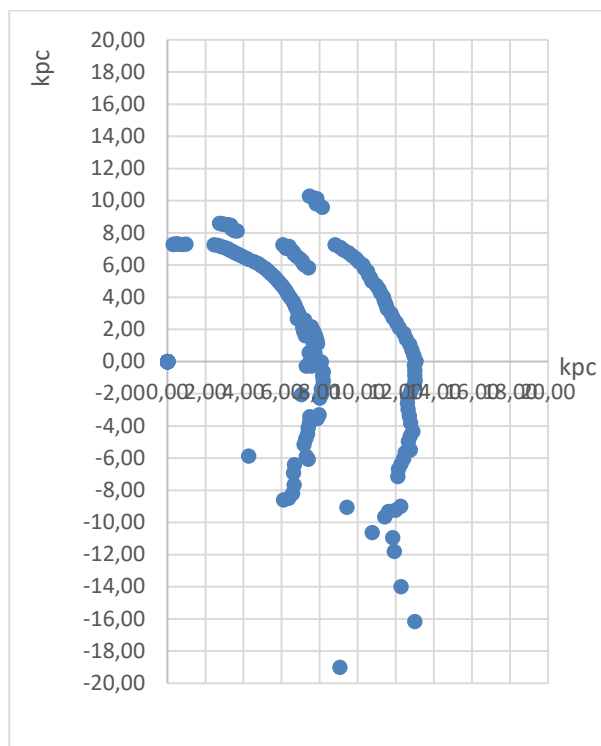


Figura 2. Struttura della Galassia ottenuta dai dati sperimentali.

Dal grafico della distribuzione dell'idrogeno ottenuta dai dati sperimentali si evince come quest'ultimo non sia distribuito uniformemente, ma appaia concentrato in strutture filamentari. Queste ultime sono considerate una forte evidenza di struttura a spirale. Tale immagine, in particolare, rileva una struttura spiraleggiante evidenziando tre bracci a spirale, dei quali due ben formati l'altro non così marcato [22] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34].

Sovrapponendo idealmente l'immagine ottenuta con una rappresentante la struttura a spirale della Galassia, si può intuire come i tre bracci a spirale evidenziati siano, dall'alto verso il basso, quello del Perseo, di Orione e del Sagittario.

In corrispondenza della posizione del Sole si trovano molti punti sperimentali per il fatto che tale astro si trova circondato da bracci a spirale e dunque la presenza di idrogeno in tale zona è alquanto abbondante.

Nonostante si sia indagato solo il primo e il secondo quadrante emergono delle zone dove sembrano esservi delle lacune. Con ogni probabilità la sensibilità dello

strumento non ha permesso di discriminare zone vicine. Tuttavia, nonostante questi indubbi errori, l'andamento della distribuzione dell'idrogeno è ben marcata.

Dalla conoscenza della curva di rotazione è stato possibile derivare la massa della Galassia entro un raggio R qualsiasi: questa viene comunemente chiamata massa integrale.

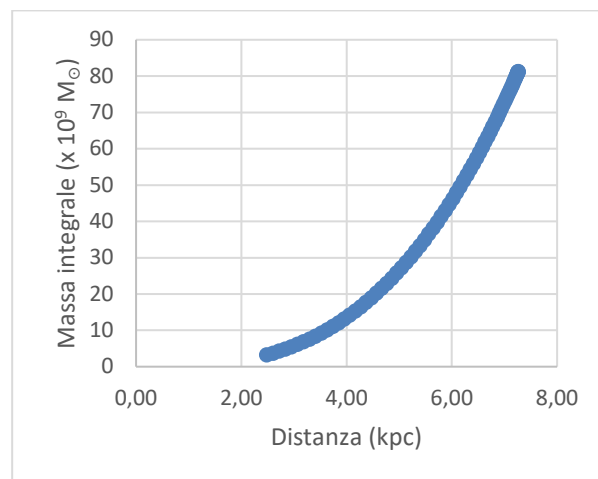


Figura 3. Andamento della massa integrale in funzione della distanza dal centro galattico

Dai dati ottenuti si desume una massa per la Galassia in corrispondenza del Sole pari a $81,22 \times 10^9 M_{\odot}$ confrontabile alla massa dedotta dai dati sperimentali [22]. Tale valore è confrontabile con quelli tabulati che pongono ad una distanza di 7 kpc una massa di $82 \times 10^9 M_{\odot}$ [35] [36].

È da sottolineare come questi dati non considerino il fatto che al centro della Galassia si trova una concentrazione di massa molto elevata, con ottima probabilità un buco nero supermassiccio, e dunque i valori risultano essere sottostimati.

È impossibile, senza questa ipotesi, non deducibile dai dati sperimentali ottenuti, poter rilevare con esattezza la massa della Galassia. Questo fa emergere come i valori calcolati siano soggetti ad un errore sistematico, facilmente correggibile. Tuttavia, volutamente, tale correzione non è stata applicata.

Conclusioni

Dai risultati ottenuti, confrontati con quelli attesi, emerge come questi siano in buon accordo. Infatti, come esposto in precedenza, la curva di rotazione della Galassia risulta confrontabile, entro i limiti già esposti, con i valori storici.

Dalle osservazioni effettuate non emerge appieno uno storico mistero: ciò che viene chiamato materia oscura. Secondo la teoria classica, andando a considerare la materia visibile, il grafico della curva di rotazione dovrebbe ad un certo momento avere un andamento decrescente. In realtà quello che si osserva è che l'andamento risulta costante fino a parecchi chiloparsec dal centro galattico, anche dove visivamente non vi sono oggetti visibili. In altre parole, secondo le osservazioni, le velocità orbitali invece di diminuire a grandi raggi,

rimangono pressoché costanti. Questo è un indice della presenza di materia che non emette radiazione luminosa, la cosiddetta materia oscura.

Stelle e gas ruotano quindi, specialmente nelle zone periferiche della Galassia, troppo velocemente rispetto alla massa osservata. Da ciò si deduce che ci deve essere più materia, invisibile ai nostri occhi e ai più sensibili strumenti, ma la quale, attraverso la forza di gravità, fa sì che le stelle stiano assieme all'interno della Galassia e che non sfuggano via a causa della forza centrifuga.

Si immaginino due ballerini in una stanza buia. L'uomo è nero, veste abiti neri, e la donna veste un vestito fluorescente. Tu non puoi vedere l'uomo. Ma dal moto della donna, si può prevedere la sua presenza: qualcuno deve girare attorno a lei con la stessa velocità altrimenti sfuggirebbe via!

In questa analisi, tuttavia, solo marginalmente è possibile vedere questo fenomeno in nella presente analisi, in quanto le velocità tangenziali si basa solo su distanze dell'ordine della distanza Sole-Centro galattico. Ma cosa sia veramente la materia oscura rimane ancora oggi una questione aperta.

Confrontando i valori ottenuti con quelli di altre ricerche fatte nelle medesime condizioni [37], si osserva che i dati sono confrontabili anche se la ricerca fatta risulta molto più approfondita della precedente soprattutto per numero di osservazioni fatte.

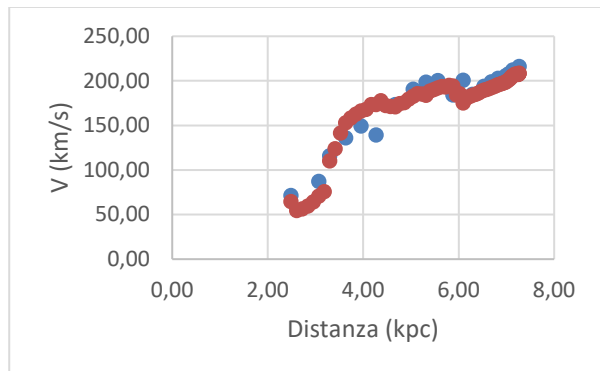


Figura 4. – Curva di rotazione della Galassia. I punti rossi sono quelli della presente ricerca, i blu da [37]

Anche la mappa della Galassia rispecchia le caratteristiche riconducibili ad altre campagne osservative [37], in particolare i dati storici acquisiti, ed evidenzia principalmente tre strutture riconducibili ad altrettanti bracci a spirale.

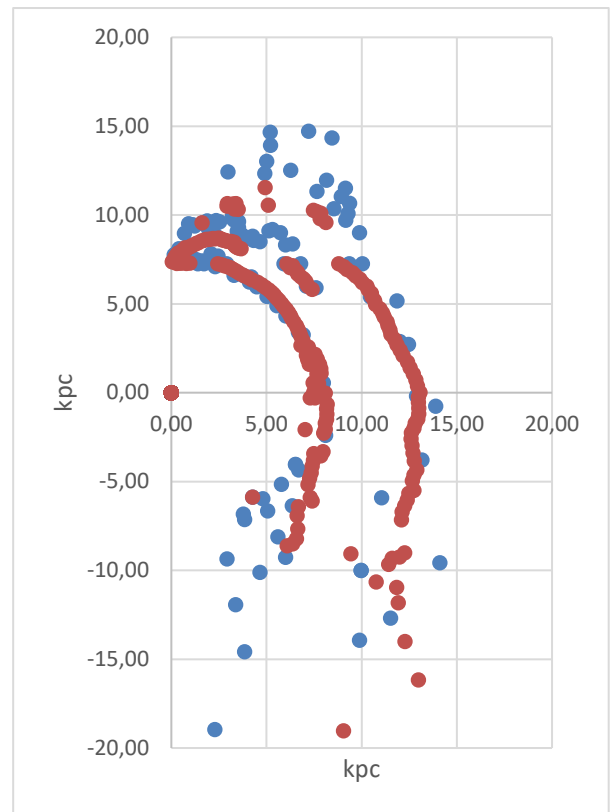


Figura 5. – Struttura della Galassia ottenuta dai dati sperimentali (punti rossi) e dalla ricerca di confronto (punti blu) [37]

La sovrapposizione dei due grafici è abbastanza simile. L'analisi realizzata ha permesso di evidenziare una struttura in maniera molto marcata. Le differenze tra le due sono nel secondo quadrante. Questo può dipendere da diversi fattori, uno in particolare è il fatto di non aver utilizzato in entrambe le ricerche lo stesso strumento. Infatti vi è la possibilità di utilizzare due diversi radiotelescopi i quali, anche se nominalmente sono identici, possono presentare delle caratteristiche di sensibilità leggermente diverse.

Infine la massa ricavata entro l'orbita del Sole è paragonabile a quella comunemente accettata, con la discriminante di non tener conto della massa concentrata nel centro galattico, che, come già espresso, non è identificabile con tale tecnica.

Anche in questo caso i risultati sono stati confrontati con la già citata ricerca [37].

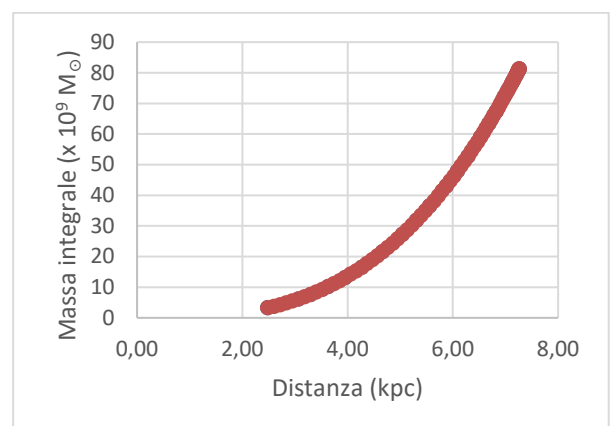


Figura 6. – Andamento della massa integrale in funzione della distanza dal centro galattico ottenuto dai dati sperimentali (punti rossi) e dalla ricerca di confronto (punti blu) [37]

Il grafico precedente sembrerebbe essere un errore, nel senso che da legenda si dovrebbero vedere dei punti blu. In realtà i due grafici sono perfettamente sormontabili. In aggiunta è ancora da sottolineare come il grafico ottenuto si basi su settanta dati utili contro i venti che si stanno cercando di confrontare.

Questo lavoro presenta delle possibilità di miglioramento, nonostante i risultati ottenuti siano ragionevolmente corretti e confrontabili con più ricerche. Innanzitutto avendo a disposizione una radiotelescopio di maggiore sensibilità, si potrebbero discriminare maggiormente le perturbazioni nella distribuzione dell'idrogeno neutro. Questo migliorerebbe la qualità degli spettri, così da ottenere nubi a distanze anche maggiori. Una caratterizzazione delle nubi più distanti infatti necessita di una spaziatura in longitudine più fine di quanto non sia effettivamente stato fatto. Inoltre la posizione dei radiotelescopi, troppo a nord, non permettono di mappare completamente e facilmente tutto il piano galattico. Infatti si potrebbe completare la mappatura della Via Lattea in particolare nel terzo e quarto quadrante.

Si potrebbe altresì ottenere una mappa tridimensionale della Galassia andando ad indagare la distribuzione dell'idrogeno a diverse latitudini. Questo comporterebbe un'analisi matematica ben più complessa di quella affrontata, andando a lavorare in coordinate polari tridimensionali. Anche questa ricerca sarebbe però proponibile e darebbe risultati scientificamente interessanti sono aumentando la sensibilità degli strumenti.

Bibliografia

[1] Sanders Robert, *Milky Way galaxy is warped and vibrating like a drum*, UC Berkeley News (9 gennaio, 2006)

[2] Blandford, R.D., *Origin and evolution of massive black holes in galactic nuclei*, ASP Conference Series vol. 182 (1999)

[3] Vallee, J.P., *The Milky Way's Spiral Arms traced by Magnetic Fields, Dust, Gas and Stars*, The Astrophysical Journal, **454**, 119-124 (1995)

[4] Ortiz, R., Lepine, J.R.D., *A model of the Galaxy for predicting star counts in the infrared*, Astronomy and Astrophysics, **279**, 90-106 (1993)

[5] Vallée, J.P., *New Velocimetry and Revised Cartography of the Spiral Arms in the Milky Way — A Consistent Symbiosis*, The Astronomical Journal, **135**, 1301-1310 (2008)

[6] Harris, William E., *Catalog of Parameters for Milky Way Globular Clusters: The Database (text)*, SEDS (February 2003)

[7] English, J., *Exposing the Stuff Between the Stars*, Hubble News Desk (14 gennaio 2004)

[8] Reid, M.J., *The distance to the center of the Galaxy*, Annual review of astronomy and astrophysics, **31**, 345–372 (1993)

[9] Eisenhauer, F., et al., *SINFONI in the Galactic Center: Young Stars and Infrared Flares in the Central Light-Month*, The Astrophysical Journal **628**, 246–259 (2005)

[10] Garlick, M.A., *The Story of the Solar System*, Cambridge University, 46 (2002)

[11] Horellou, C., Johansson, D., *Hands-On Radio Astronomy Mapping the Milky Way*, Onsala Space Observatory (2010)

[12] Burton, W.B., *Galactic and Extragalactic Radio Astronomy*, Verschuur G.L., Kellermann, K.I. ed, Springer-Verlag (1988)

[13] Ewen, H.I., Purcell, E.M., *Nature*, **168**, 356 (1951)

[14] Cohen-Tannoudji, C., Diu, B., Laloë, F., *Quantum Mechanics*, Wiley-VCH (1986)

[15] Rigden, J.S., *Hydrogen, The Essential Element*, Harvard University Press (2003)

[16] Peebles, P.J.E., *Quantum Mechanics*, Princeton University Press (1992)

[17] Shklovsky, I.S., *Cosmic Radio Waves*, Harvard University Press (1960)

[18] Onsala Space Observatory, <http://www.chalmers.se/oso>

[19] SALSA - Such A Lovely Small Antenna , <http://jare.oso.chalmers.se/salsa/>

[20] Hand of Universe Europe, <http://www.euhou.net>

[21] Lang, K.R., *Astrophysical Formulae*, Springer-Verlag (1999)

[22] Fanti, C., Fanti, R., *Lezioni di Radioastronomia*, Università di Bologna, 12 (1999)

[23] Kraus, J.D., *Radio Astronomy 2nd Edition*, Cygnus-Quasar Book, 8 (2005)

[24] Burke, B.F., Graham-Smith, F., *An Introduction to Radio Astronomy 2nd Edition*, Cambridge University Press, 154-159 (2002)

[25] Hulst, H.C. van de, Muller, C.A., Oort, J.H., B.A.N. **12**, **452**, 117 (1954)

[26] Muller, C.A., Oort, J.H., *Nature*, **168**, 357 (1951)

[27] Origin Lab data Analysis and Graphing Software, <http://www.originlab.com/>

[28] Hulst, H.C. van de, *Radio Waves from Space*, Ned. Tijdschr. Natuurk., **11**, 201-221 (1945)

[29] Hulst, H.C. van de, Muller, C.A., Oort, J.H., *The Spiral Structure of the outer Part of the Galactic System Derived from Hydrogen Emission at 21 cm Wavelength*, Bull. Astron. Inst. Neth., **12**, 117-149 (1954)

[30] Eweb, H.I., Purcell, E.M., *Radiation from Galactic Hydrogen at 1,420 Mc/s*, *Nature*, **168**, 356-357 (1951)

[31] Hagen, J.P., Lilley, A.E., McClain, E.F., *Absorption of 21-cm Radiation by Interstellar Hydrogen*, *Astrophys. J.*, **22**, 361-375 (1955)

[32] Kerr, F.J., Westerhout, G., *Distribution of Hydrogen in the Galaxy*, Galactic Structure, 5, A. Blaauw e M. Schmidt (ed.), Univ. of Chicago Press (1964)

[33] Westerhout, G., *The Structure of the Galaxy from radio Observation*, IEEE Trans. Ants. and Prop., AP-12, 954-963 (1964)

[34] Kalberla P. M. W., Kerp J., *ARA&A*, **47**, 27 (2009)

[35] Schmidt, M., *Rotation Parameters and Distribution of Mass in the Galaxy*, Galactic structure, Edited by

Adriaan Blaauw and Maarten Schmidt, University of Chicago Press, Chicago, 513 (1965)

[36] Wolfire M. G., McKee C. F., Hollenbach D., Tielens A. G. G. M., ApJ, **587**, 278 (2003)

[37] Sandri M., Bettelli E., Fedrizzi R., Fellin R., Grandi E., Larcher M., Ziller M., *Astronomia UAI*, **4**, 44-51 (luglio-agosto 2013)