

Edvige Corbelli

Stelle massicce svelano l'origine del gigantesco anello di gas nel Leone

Massive stars unveil the origin of the giant gas ring in Leo

INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Riassunto. Una gigantesca nube di gas con massa equivalente a quella di una galassia, ma senza un'estesa controparte stellare, si estende nello spazio intergalattico vicino a noi. Recenti osservazioni spettroscopiche hanno individuato in questa struttura rare stelle giovani di grande massa la cui radiazione riscalda il gas circostante rivelando in esso le impronte di elementi pesanti. Le abbondanze chimiche di questi elementi hanno implicazioni profonde sull'origine di questa nube, una questione discussa ormai da quasi 40 anni.

Parole chiave. Mezzo intergalattico, regioni HII, galassie.

La struttura gassosa più estesa osservata fino ad oggi nell'Universo locale è stata scoperta per caso nel 1983 con il radiotelescopio di Arecibo, in una zona di cielo dove l'antenna stava prendendo il segnale di riferimento [1]. Questa nube ha una forma ad anello e, trovandosi in cielo in direzione della costellazione del Leone, viene chiamata "Leo ring" ovvero anello del Leone. Con un diametro di oltre 500,000 anni luce essa si estende nello spazio intergalattico intorno al tripletto di galassie del gruppo Leo I, a circa 30 miliardi di anni luce dalla nostra galassia. L'origine di questa nube fredda di gas è stata dibattuta per quasi 40 anni con la pubblicazione di numerosi articoli scientifici dedicati ad osservazioni in diverse bande dello spettro

Summary. The origin of the most extended intergalactic cloud of the local Universe, the Leo ring, has been debated for about 40 years. It has a gas mass equivalent to that of a galaxy but no extended optical counterpart. Recent observations with integral field spectroscopy have localized small star formation sites with young, massive stars in the cloud. The light from the hot gas in their proximity has the footprints of heavy elements with abundances close to solar ones, unveiling the long-standing mystery of the origin of this giant ring.

Keywords. Intergalactic medium, HII regions, galaxies.

The discovery of the most extended gaseous structure known in the local Universe was a serendipitous find dating back to 1983 when the Arecibo radio telescope was pointing at a patch of the sky for an off-reference scan [1]. This intergalactic cloud has a ring shape; as it is located in the direction of the Leo constellation, it is also known as the Leo ring. More than 500,000 light



elettromagnetico e a simulazioni numeriche. Avendo l'anello una massa equivalente a quella di una galassia senza una chiara controparte ottica, diversi astronomi hanno sostenuto che poteva trattarsi di un raro esempio di nube primordiale, risalente ai tempi di formazione delle altre galassie del gruppo. L'anello potrebbe essersi formato dal raffreddamento di gas caldo che pervade lo spazio intergalattico, una volta che questo entra a contatto con il potenziale gravitazionale del gruppo. Oppure potrebbe trattarsi di un fallimento del processo di collasso per la formazione di una galassia. In ogni caso, l'origine primordiale è stata per molto tempo l'ipotesi più accreditata a causa dell'assenza di un'estesa controparte stellare. Privo di stelle, il gas sarebbe rimasto quasi incontaminato dagli elementi pesanti che queste producono. La rarità di oggetti simili trova supporto nei modelli cosmologici che non prevedono l'esistenza di tali nubi, fredde e massicce, nell'Universo locale.

La forma circolare dell'anello del Leone può invece essere spiegata facilmente ipotizzando che un miliardo di anni fa due galassie del gruppo abbiano avuto un incontro molto ravvicinato. In tal caso gli effetti mareali dovuti all'interazione delle due galassie avrebbero rimosso parte del gas al loro interno, immettendolo nello spazio intergalattico. Ma le interazioni o collisioni fra galassie spesso coinvolgono anche la componente stellare, producendo scie o code stellari che nel gruppo Leo I non sono state osservate. Inoltre, come nel caso di altri anelli di origine collisionale, il gas rimosso dovrebbe aver subito forti compressioni formando numerose nuove stelle al suo interno.

Una misura delle abbondanze di elementi pesanti nell'anello potrebbe fornire la chiave per risolvere il dibattito sulle sue origini. Nel caso di gas primordiale infatti

years in diameter, the Leo ring extends through intergalactic space around the three galaxies of the Leo I group, at about 30 billion light years from our Galaxy. The origin of this cloud has been debated for several decades, with many scientific papers dedicated to numerical simulations and observations across the electromagnetic spectrum. Because of the large amount of HI gas with no extended optical counterpart, some researchers believe that the ring is a rare primordial cloud dating back to the time of the formation of the Leo I group. The ring might have formed out of the hot intergalactic medium, condensing as the gas started to experience the group's potential well. Or it might just be a leftover gas cloud which failed to collapse and form a galaxy. The primordial origin hypothesis has received much attention because the ring lacks a stellar counterpart. Massive HI clouds without extended star formation in the local Universe do not fit current cosmological models of galaxy formation, and this might explain the paucity of such clouds.

On the other hand, the ring shape of the Leo cloud may be explained as the result of a close encounter between two galaxies of the group about a billion years ago. During such interaction, tidal forces can remove gas from galaxy potential wells and shift it into intergalactic space. However, galaxy-to-galaxy encounters often disrupt part of the stellar component as well, leaving stellar tails and streams around galaxies. These have not been observed in the Leo I group. Moreover, as with other collisional rings, the gas may have been shocked and condensed during the removal process, forming stars through intense stellar bursts.

Measuring its heavy element abundances would go a long way toward putting an end to the long-standing debate on the ring's origin. Without a pervasive stellar population, the

ci si aspetta che le abbondanze siano molto più basse di quelle che caratterizzano il gas in una galassia, ovvero nel caso di origine collisionale. È a questo scopo che un gruppo di ricercatori dell'Osservatorio di Arcetri (E. Corbelli, G. Cresci, F. Mannucci, G. Venturi insieme a D. Thilker della J. Hopkins University) ha puntato lo strumento MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) montato al Very Large Telescope (VLT) dell'ESO verso l'anello del Leone. Grazie alla sua sensibilità lo strumento MUSE è in grado di analizzare spettroscopicamente la luce emessa anche da piccolissime regioni di gas caldo dell'anello e di trovare tracce di elementi pesanti. Occorreva però localizzare queste piccole regioni in una nube molto estesa, ipotizzare dove qualche rara stella di grande massa poteva essersi formata riscaldando il gas vicino ad essa. Elementi pesanti in un gas freddo non sarebbero rivelati da MUSE. L'elevata risoluzione spaziale del VLT e la rarità di stelle nell'anello richiedevano una strategia ben precisa per la scelta dei piccoli campi da osservare. La scelta è stata guidata dalla presenza di deboli sorgenti ultraviolette in prossimità dell'anello [2]. Essendo la luce ultravioletta misurata nel continuo, la maggior parte delle sorgenti potevano però essere più distanti o più vicine dell'anello stesso e sovrapporsi ad esso solo in proiezione. Esisteva comunque qualche sorgente coincidente con zone dell'anello dove il gas mostrava un'elevata concentrazione. In tal caso è più probabile che l'emissione ultravioletta provenga da stelle giovani dell'anello stesso. Le stelle infatti si formano dove il gas diventa più denso ed inizia il collasso gravitazionale, e quelle più massicce emettono molta luce nell'ultravioletto.

Osservando due piccole regioni ricche di gas e con emissione di luce ultravioletta sono state individuate nell'anello cinque nebulose di gas caldo, di cui

primordial gas is expected to have very low abundances of heavy elements, since these are produced by stellar nucleosynthesis. This is not the case if the gas has been hosted by a galaxy, i.e. for a ring cloud of collisional origin. With this aim in mind, a research group of the INAF-Arcetri Observatory (E. Corbelli, G. Cresci, F. Mannucci and G. Venturi, together with D. Thilker at J. Hopkins University) used the MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) mounted on the ESO Very Large Telescope (VLT) to observe regions of the Leo ring. Thanks to its sensitivity, the MUSE can detect the light spectrum emitted by tiny regions of hot gas in the ring, at a distance of 10 Mpc, and possibly reveal emission lines of heavy elements. The MUSE is not able to detect such lines in cold gas. The major challenge is to find these special rare hot regions in a huge gas cloud. Imaging only a few tiny fields with the high spatial resolution of the VLT required a specific observation strategy. The team thought that the most promising places to observe were gas peaks associated with some ultraviolet emission: here massive stars might have formed, emitting ultraviolet light and heating the surrounding gas [2]. As the ultraviolet light detected by the GALEX satellite has no spectroscopic information, the team did not know whether sources in the direction of the Leo ring were associated with background galaxies, Milky Way features or with the Leo ring. However, the presence of gas peaks in a few cases was encouraging: stars form where gas condenses into clumps, which later fragment and collapse.

Through spectroscopic imaging of two small gas-rich regions associated with some dim ultraviolet light, five nebular regions of hot gas were detected, of which the four most luminous turned out to host young stars, 20-30 times more massive than the sun. The Hubble Space Tel-

le quattro più brillanti sono risultate associate a stelle giovani, 20-30 volte più massicce del Sole. L'immagine di due di queste regioni con il telescopio spaziale Hubble ha mostrato la presenza di sorgenti puntiformi di magnitudine e colore corrispondente a stelle tipo spettrale O [3]. Il gas caldo intorno a queste stelle emette intense righe di emissione, alcune dovute ad elementi pesanti come l'ossigeno, l'azoto e lo zolfo. Le abbondanze di questi elementi sono risultate simili a quelle trovate nel Sole. L'esigua densità di stelle nell'anello tuttavia è incompatibile con l'ipotesi che gli elementi pesanti osservati siano stati prodotti dalle sole stelle dell'anello attraverso il processo di nucleosintesi. Elevate abbondanze chimiche necessitano di una elevata densità di stelle, molto maggiore di quanto imposto dai limiti osservativi sulla brillantezza superficiale e sui colori ottici dell'anello [4]. Il gas deve essere stato contaminato da elementi pesanti quando si trovava in un ambiente molto ricco di stelle, ovvero in una galassia. L'anello del Leone dunque non può essere primordiale: esso è costituito di gas e metalli riciclati ovvero rimossi da una galassia a causa di un violento incontro con un'altra galassia.

L'anello del Leone sarà sotto i riflettori anche nei prossimi anni. La presenza di poche giovani stelle e di elementi pesanti ci ha svelato parte della sua storia ma non sappiamo ancora quali galassie abbiano subito questo violento incontro. È probabile che fra queste ci sia M96, la spirale a sud dell'anello connessa a questo da un debole filamento gassoso [5]. Un'analisi accurata della dinamica dell'incontro dovrebbe chiarire anche perché la formazione di stelle proceda così lentamente e le basi del processo di formazione stellare in un ambiente così diverso dalle galassie.

escape view of two of these has clearly shown that individual O-type massive stars are powering the nebulae [3]. The strong emission lines of heavy elements such as oxygen, nitrogen and sulfur detected in the nebular spectra imply metal abundances close or above those of the sun. Because of the paucity of stars in the ring, all these elements cannot have been produced locally: a much higher surface density of stars than what has been observed would be needed [4]. The ring gas must have been polluted by heavy elements when it was in a stellar rich environment, such as a galaxy. The Leo ring therefore is not a primordial gas cloud but is made of gas mixed with recycled metals which were produced elsewhere, in a galaxy, and then removed during a cosmic collision.

Yet this is not the end of the story. Although we have established the collisional origin of the ring, thanks to the detection of heavy elements and massive stars, we still do not know which galaxies were involved in the collision. It is likely that one of them was the nearby M96 galaxy, since droplets of gas between the ring and this galaxy have been identified [5]. An accurate analysis of the ring dynamics should unveil why the collision did not produce stellar streams and why the ring is forming stars so slowly. In the ring environment, an unusual star forming process might take place, where stars form in isolation and are sparser than in a galactic disk. These stars can slowly build up new, diffuse dwarf galaxies, offering us the opportunity to study the rare process of galaxy formation in the nearby Universe.

Le poche stelle osservate potrebbero essere segnali della crescita di nuove, piccole galassie, un processo raro nell'Universo odierno che merita molta attenzione.

Bibliografia

- [1] Schneider S.E. et al. 1983, ApJL, 273, L1
- [2] Thilker D.A. et al. 2009, Nature, 457, 990
- [3] Corbelli E. et al. 2021b, A&A, 651, 77
- [4] Corbelli E. et al. 2021a, ApJL, 908, L39
- [5] Michel-Dansac L. et al. 2010, ApJL, 717, L143

Edvige Corbelli è un'astronoma dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri esperta dell'Universo locale soprattutto per fenomeni connessi con la dinamica ed il processo di formazione stellare nelle galassie.

References

- [1] Schneider S.E. et al. 1983, ApJL, 273, L1
- [2] Thilker D.A. et al. 2009, Nature, 457, 990
- [3] Corbelli E. et al. 2021b, A&A, 651, 77
- [4] Corbelli E. et al. 2021a, ApJL, 908, L39
- [5] Michel-Dansac L. et al. 2010, ApJL, 717, L143

Edvige Corbelli is a staff astronomer at INAF-Arcetri Observatory. She is an expert on the local Universe, with a particular interest in galaxy dynamics, interstellar medium and star formation in nearby galaxies.

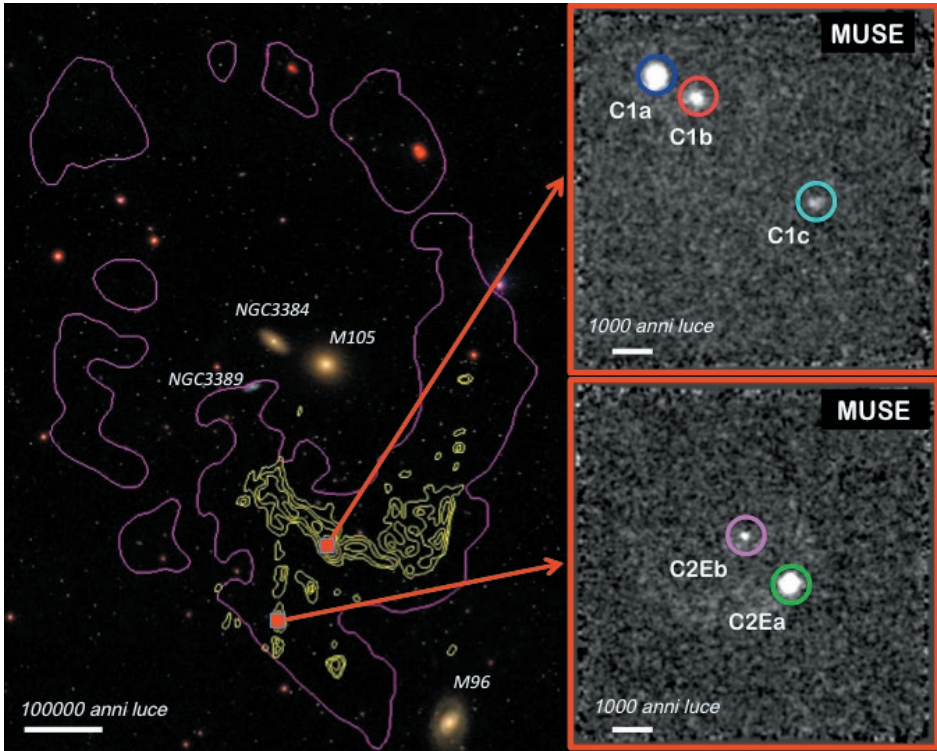


Figura 1. Nell'immagine di sinistra i contorni in magenta delimitano l'estensione del gas nell'anello del Leone intorno al tripletto di galassie al centro dell'immagine. In giallo i contorni relativi al gas più denso [Crediti: S. Schneider]. I due piccoli quadrati rossi indicano i campi osservati con il VLT. L'ingrandimento a destra ne mostra l'immagine nella riga H α dell'idrogeno. Le regioni in bianco, evidenziate dai cerchi colorati, sono le 5 nebulose di gas caldo con tracce di elementi pesanti rivelate da MUSE. La presenza di giovani stelle massicce in C1a e C1b è stata confermata da osservazioni fotometriche con il telescopio spaziale Hubble. [3][4]

Figure 1. In the left panel, magenta contours show the cold gas distribution in the Leo ring around the galaxy triplet at the image center. Yellow contours indicate denser gas, imaged with a radio interferometer [Credit: S. Schneider]. Red boxes show the MUSE fields observed with the VLT. Close-up views in the right panel display the MUSE image of these fields at the wavelength of the hydrogen H α line. Here the bright hot regions are the white clumps within the colored circles, where footprints of heavy elements have been found. Young massive stars in C1a and C1b have been confirmed by archival Hubble Space Telescope images [3][4].