

Leslie Hunt

ALMA apre una finestra sulla formazione delle galassie

ALMA opens a local window on galaxy formation

INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri



Il Colle di
Galileo

Sommario. Nuove osservazioni fatte con ALMA, l'Atacama Large Millimeter Array, un complesso di radiotelescopi in Cile, hanno rivelato un'enorme quantità di polvere interstellare nella piccola galassia SBS 0335-052 poco evoluta dal punto di vista chimico e vicina alla nostra galassia. Per le loro piccole dimensioni, gli alti tassi di formazione stellare e la composizione chimica, galassie come SBS 0335-052 sono considerate molto simili a quelle che si formarono quando l'universo era molto giovane. Galassie di questo tipo sono molto rare nell'universo locale, ma molto frequenti in quello lontano. Le osservazioni ALMA di SBS 0335-052 permettono di ottenere vincoli molto stringenti sul modo in cui le stelle si sono formate nelle prime galassie, ancora non evolute dal punto di vista chimico.

Parole chiave. Galassie, formazione stellare, materia interstellare, interferometro ALMA

Gli elementi chimici più pesanti dell'idrogeno e dell'elio, i cosiddetti metalli, sono creati dalla nucleosintesi stellare e poi espulsi nello spazio interstellare dai forti venti stellari e dalle esplosioni di supernove durante le fasi finali della vita delle stelle. Le galassie che si sono formate quando l'universo era molto giovane dovreb-

Abstract. New observations made with ALMA, the Atacama Large Millimeter Array, an array of radio telescopes in Chile, have revealed an unexpectedly high amount of dust in a tiny, chemically unevolved galaxy in the nearby universe, SBS 0335-052. Because of the small size, high rate of star formation, and the composition of its interstellar medium, galaxies like SBS 0335-052 are thought to be similar to those that formed when the universe was very young. Such galaxies are very rare in the galactic neighborhood, but quite common in the distant universe. Our ALMA observations of SBS0335-052 thus place new and strong constraints on the way we think stars formed in early, chemically unevolved galaxies.

Keywords. Galaxies, star formation, interstellar medium, ALMA interferometer

Metals, elements heavier than hydrogen and helium, are created by stars through nucleosynthesis, and expelled into the interstellar medium (ISM) through stellar winds and supernova

bero perciò essere prive di metalli o al più contenerne soltanto piccole quantità. Oggi sappiamo che l'universo ha un'età di circa 14 miliardi di anni e che quindi ha subito un complesso processo di arricchimento di elementi chimici dalle varie generazioni stellari che si sono succedute in questo lasso di tempo. Sorge spontanea la domanda "Come possiamo verificare queste condizioni fisiche e chimiche così peculiari senza dover osservare direttamente le prime fasi evolutive dell'universo?" Fortunatamente, nelle vicinanze della Via Lattea si trova una rara, ma fondamentale classe di galassie povere di metalli che sono in una fase di transizione tra le condizioni primordiali e quelle attuali caratterizzate da una grande abbondanza di elementi pesanti.

Una di queste galassie, SBS 0335-052, ha un'abbondanza di elementi pesanti pari a soltanto il 3% di quanto presente sul Sole, un valore tra i più bassi nel campione di galassie attive nella formazione stellare (da notare che i metalli sul Sole contribuiscono soltanto al 2% in massa alla composizione chimica del gas). Ad una distanza di circa 180 milioni di anni luce, SBS 0335-052 è una piccola galassia con una massa in stelle 10000 volte minore di quella della Via Lattea. Tuttavia, il suo mezzo interstellare sta producendo stelle allo stesso ritmo di quanto misurato nella nostra galassia, tra una e due masse solari all'anno. Si ritiene che galassie come SBS 0335-052, chiamate "nane blu compatte" a causa della loro colorazione se riprese in luce visibile, siano i mattoni fondamentali delle grandi galassie che vediamo oggi nella loro piena maturità.

SBS 0335-052 è stata osservata con ALMA, un complesso di radiotelescopi che operano a lunghezze d'onda sub-millimetriche e che si trova nel deserto di

explosions. Galaxies that formed when the universe was young are expected to be almost metal-free, containing only trace amounts of metals. However, since the universe is about 14 billion years old and has undergone substantial evolution and enrichment of chemical elements, an obvious question is "How can we probe these peculiar conditions without having to observe directly the initial evolutionary phases of the universe?" Luckily, there is a rare class of metal-poor galaxies in the vicinity of the Milky Way that appear to be in a transition phase between the pristine conditions of the formation epoch of the universe, and the current epoch characterized by a high proportion of heavy elements.

One of these galaxies, SBS0335-052, has a metal abundance of only 3% solar, among the lowest abundance known in star-forming galaxies (metals in the Sun comprise only about 2% of the mass in the total solar gas mixture). Located at a distance of about 180 million light years, SBS0335-052 is a tiny galaxy, with a mass in stars 10,000 times smaller than the Milky Way. However, its ISM is forming stars at roughly the same rate as our galaxy, slightly more than one solar mass per year. Galaxies like SBS0335-052, which are called blue compact dwarfs on account of their appearance in optical light, are thought to be representative of the small "building-block" galaxies which merged over time to form the giant galaxies that we see today.

We observed SBS0335-052 with ALMA, an array of radio telescopes that operates at sub-millimeter wavelengths in the Atacama desert in Chile. The observations were carried out by the author and an international team from France, Germany, Italy, Spain, and the UK. Previous observations with infrared satellites, including the European Space Agency's Infrared

Atacama in Cile. Le osservazioni sono state eseguite dall'autore in collaborazione con un gruppo di astronomi francesi, spagnoli, tedeschi e inglesi. Osservazioni precedenti fatte con satelliti infrarossi, tra cui l'Infrared Space Observatory e Herschel, entrambi dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), avevano messo in luce la presenza di notevoli quantità di polvere in questa galassia. Grazie ad ALMA è stato possibile ottenere una mappa ad alta risoluzione dell'emissione della polvere ad una lunghezza d'onda di 870 micron. L'immagine ottica di SBS 0335-052 presa dallo Hubble Space Telescope (HST) è mostrata nel pannello di sinistra della figura. Le nuove osservazioni fatte con ALMA sono invece visibili nel pannello di destra come contorni di bianco sovrapposti all'immagine di HST.

Il flusso a 870 micron è stato combinato con i dati presenti in letteratura per ottenere la distribuzione di energia su tutto lo spettro elettromagnetico e calcolare quindi la massa totale della polvere interstellare. Dal confronto di questa con il gas di idrogeno atomico si è scoperto che la massa in polvere è ben 20 volte maggiore di quanto previsto. L'interpretazione più naturale dell'anomalo rapporto gas-polvere è che in questa galassia non sia presente una grande quantità di gas in forma molecolare. Ciò è molto interessante perché sappiamo che le stelle si formano soltanto nelle regioni più dense e fredde delle nubi molecolari dove la temperatura è controllata dal raffreddamento efficiente delle molecole. Ma nel caso di SBS 0335-052 le osservazioni ALMA non hanno rivelato alcuna emissione di monossido di carbonio (CO), la molecola più abbondante dopo l'idrogeno molecolare. Questo risultato indica chiaramente come l'abilità del CO di tracciare le molecole di idrogeno è fortemente compromessa in sistemi con pochi metalli. Le

Space Observatory and Herschel, showed that this galaxy contains a large amount of interstellar dust. Thanks to ALMA, we have obtained a high-resolution map of the dust emission at a wavelength of 870 μ m. The optical image of SBS0335-052 taken with the Hubble Space Telescope (HST) is shown in the left panel of Figure 1. Our new observations obtained with ALMA are displayed in the right panel as white contours overlaid on the HST image. The superior spatial resolution of the ALMA image pinpoints the regions with dust; emission is seen only in the two brightest clusters to the southeast, while the rest of the galaxy is devoid of dust.

The 870 μ m flux was combined with data from the literature to compile the spectral energy distribution that allows the determination of the total mass in dust. Comparing the dust content with the atomic gas, it turns out that the dust mass is a factor of 20 higher than expected. The obvious implication is that a significant fraction of the molecular gas component is missing. This is important because stars are thought to form in the densest and coolest regions of molecular clouds where the temperature of the gas is controlled by the cooling efficiency of the molecules. However, in SBS0335-052 our new sensitive ALMA observations were unable to detect CO, the most common species after molecular hydrogen. This result clearly indicates that the ability of CO to trace H₂ is compromised at low metal abundance. These ALMA observations of SBS0335-052 place new limits on the dust and gas contents in a chemically unevolved ISM that is forming stars at a very high rate. Ultimately, given the similar chemical composition of the interstellar gas in SBS0335-052, we have an opportunity to better understand how galaxies formed in the early universe.

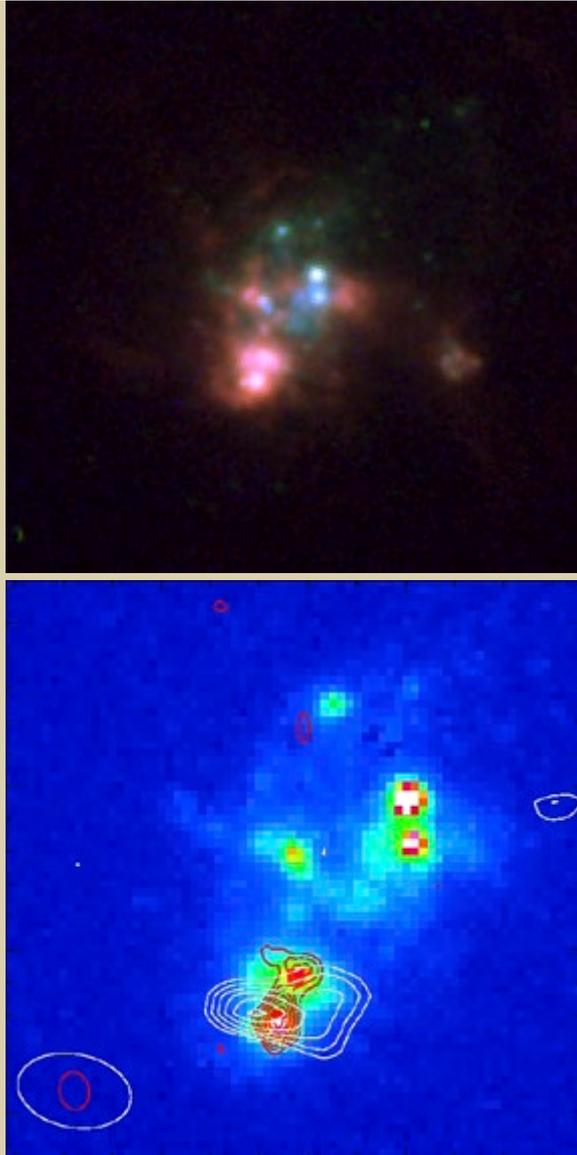


Fig. 1. Pannello in alto: Immagine a colori veri presi da HST di SBS 0335-052. L'intera galassia è visibile in quest'immagine e consiste di sei ammassi stellari molto massicci, alcuni ammassi meno ricchi e gas distribuito in tenui filamenti. Pannello in basso: Mappa ottenuta con ALMA dell'emissione della polvere a 870 micron (contorni bianchi), sovrapposta all'immagine di HST a 0.55 micron e mostrata in colori falsi. I contorni rossi rappresentano l'emissione nel continuo radio a 3.6 cm presa con il Very Large Array. Il beam dell'antenna radio è mostrato in rosso nella parte in basso a sinistra della figura ed è più piccolo di quello dell'interferometro ALMA indicato dal contorno bianco. La dimensione dell'immagine è di 4.4 secondi d'arco (3800 anni luce) quadrati.

Fig. 1. Above panel: HST true-color image of SBS0335-052. The entire galaxy, visible in this image, is composed of six massive star clusters, several less massive star clusters, and gas filaments. Bottom panel: At an enlarged scale, the ALMA map of SBS0335-052 at $870\mu\text{m}$ (Band 7) shown in white contours overlaid on the HST $0.55\mu\text{m}$ image shown in false colors. Red contours show the 3.6cm radio continuum emission obtained at the Very Large Array; the radio beam size is reported as a red ellipse in the lower left corner, smaller than the Band 7 ALMA beam shown as white contours. The size of the image is 4.4 arcsec (3800 light years) square, and the orientation is such that North is at the top and East to the left.

osservazioni ALMA mettono dunque dei limiti molto stringenti sul contenuto di gas e polveri in un gas chimicamente non evoluto e che purtuttavia sta formando stelle in maniera molto efficiente. Considerata la somiglianza della composizione chimica di SBS 0335-052 con quella delle galassie primordiali, questo studio offre una possibilità davvero speciale di indagare sul processo di formazione delle galassie nelle prime fasi della vita dell'universo.

Leslie Hunt è astronomo associato presso l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri dell'INAF. È autore di più di 130 articoli pubblicati su riviste con referee. I suoi interessi scientifici includono lo studio dell'influenza delle condizioni fisiche estreme nelle galassie sulla formazione stellare e quello della polvere interstellare e del suo ruolo nella formazione di nuove generazioni di stelle.

Leslie Hunt is an associate research scientist at INAF- Arcetri Astrophysical Observatory, and has authored more than 130 papers in refereed journals. Her scientific interests include the study of how extreme physical conditions in galaxies affect the way that stars form in them, and the study of dust, and its influence on our understanding of star formation.

