

Anna Gallazzi, Stefano Zibetti

# Uno studio archeologico delle galassie negli ultimi 7 miliardi di anni

*An archaeological study of galaxies in the last 7 billion years*

INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri

**Sommario.** Nuove osservazioni con lo spettrografo IMACS sul telescopio Magellan dell'Osservatorio Las Campanas hanno permesso di determinare l'età media e la composizione chimica delle popolazioni stellari in galassie appartenenti all'Universo di 7 miliardi di anni fa. Tramite queste osservazioni è possibile studiare la variazione di queste proprietà fisiche nel tempo e individuare i possibili percorsi evolutivi delle galassie fino all'Universo attuale.

**Parole chiave.** evoluzione delle galassie; popolazioni stellari delle galassie; spettroscopia

Le stelle nelle galassie costituiscono meno del 10% della materia ordinaria nell'Universo ed esse racchiudono complessivamente solo lo 0.2% degli elementi più pesanti di idrogeno ed elio (i cosiddetti metalli) prodotti durante il ciclo evolutivo delle stelle. D'altro canto, l'età e le proprietà chimiche delle popolazioni stellari sono il risultato della storia di formazione stellare all'interno delle galassie. Studiando le popolazioni stellari attuali delle galassie, in una sorta di approccio

**Abstract.** New observations performed with the Inamori Magellan Areal Camera and Spectrograph (IMACS) on the Magellan telescope of the Las Campanas Observatory have made it possible to determine the average age and the chemical composition of the stellar populations in the galaxies belonging to the Universe of 7 billion years ago. Through these observations it is possible to study how these physical properties changed over time and identify the ways in which the galaxies may have evolved through to the present Universe.

**Keywords.** Galaxy evolution; galaxy stellar populations; spectroscopy

The stars in galaxies represent less than 10% of the ordinary matter in the Universe, and overall comprise only 0.2% of elements heavier than hydrogen and helium (the so-called metals) produced during the stellar evolutionary cycle. On the other hand, the age and the chemical properties of stellar populations are the result of the galaxy star formation history. Therefore,



archeologico, è quindi possibile dedurre la storia evolutiva delle galassie stesse e, in ultima analisi, comprendere i meccanismi che stimolano o sopprimono la formazione stellare nel corso della storia dell'Universo. Questo approccio archeologico può essere esteso ad epoche passate guardando galassie a distanze sempre maggiori da noi, come nello studio condotto dal nostro gruppo.

Per una galassia distante non possiamo studiare individualmente le sue stelle, ma possiamo decifrare le proprietà medie delle sue popolazioni stellari tramite la spettroscopia, ovvero la scomposizione della luce emessa dalla galassia nelle sue varie componenti a diverse lunghezze d'onda. In particolare, l'intensità di diversi assorbimenti nello spettro di una galassia dipende dall'età delle stelle e dal loro contenuto in metalli, proprietà che possono essere stimate tramite un confronto con appropriati modelli teorici che descrivono l'evoluzione delle popolazioni stellari.

Studi condotti su un grande numero di galassie relativamente a noi vicine (nello spazio e quindi nel tempo), ossia nell'Universo dei giorni nostri, hanno permesso di stabilire che galassie più massicce hanno formato le loro stelle in epoche precedenti e più rapidamente di galassie più piccole. Attualmente le galassie più grandi sono prevalentemente inattive, ovvero prive di formazione stellare. La situazione era diversa quando l'Universo era più giovane: guardando a distanze sempre maggiori, ovvero a epoche sempre più remote quando l'Universo era più giovane, si trova un numero sempre maggiore di galassie massicce che formano stelle. Confrontando le proprietà fisiche di queste galassie con quelle delle loro controparti odierne è possibile avere un quadro della transizione iniziata circa 8 miliardi di anni fa da una fase attiva a una passiva.

in a sort of archaeological approach, by studying the present stellar populations in galaxies it is possible to deduce the evolutionary history of the galaxies themselves and, ultimately, understand the mechanisms that stimulate or quench star formation over the course of the history of the Universe. This archaeological approach can be extended to past epochs by looking at galaxies increasingly further away from us, as in the study carried out by our group.

In the case of a distant galaxy we cannot study its stars individually, but we can decipher the average properties of its stellar populations through spectroscopy, by breaking down the galaxy light into its components at different wavelengths. More specifically, the intensity of different absorptions in the spectrum of a galaxy depends on the age of the stars and their metal content. These properties can be estimated by comparison with appropriate theoretical models that describe the evolution of stellar populations.

Studies conducted on a large number of galaxies relatively close to us (in space and hence in time), in other words in our present Universe, have made it possible to establish that the stars in more massive galaxies were formed in earlier epochs, and more rapidly, than those in smaller galaxies. At present, most of the massive galaxies are quiescent, that is they are devoid of star formation. The situation was different when the Universe was younger. By observing earlier epochs when the Universe was younger, it is possible to find an increasingly larger number of massive galaxies forming stars. Comparing the physical properties of these galaxies with those of their modern counterparts it is possible to get a picture of the transition that began around 8 billion years ago from an active to a passive phase.

Ottenere spettri di buona qualità per galassie così distanti, dunque deboli e la cui luce è spostata nel rosso in una regione poco accessibile da terra, è una sfida osservativa che solo negli ultimi anni si riesce ad affrontare in modo efficiente. Il nostro gruppo, grazie anche ad una collaborazione americana, si è avvalso delle capacità dello spettrografo IMACS sul telescopio Magellan da 6.5 m di diametro dell'Osservatorio Las Campanas, per ottenere simultaneamente spettri di alta qualità per 80 galassie massicce a una distanza di quasi 7 miliardi di anni luce, quando l'Universo aveva circa metà della sua età attuale.

Analizzando gli assorbimenti negli spettri di queste galassie, per la prima volta è stato possibile determinare l'età media e il contenuto in metalli delle popolazioni stellari in galassie ad epoche così antiche e metterli in relazione alla massa e al tasso di formazione stellare delle galassie (vedi Fig.1). Tramite un confronto diretto con le analoghe relazioni osservate nell'Universo attuale, abbiamo visto che galassie che erano già inattive 7 miliardi di anni fa (cerchi in Fig.1) avevano metallicità confrontabili alle loro controparti odierne ed età stellari consistenti con il semplice invecchiamento dell'Universo. Questo indicherebbe che tali galassie non hanno subito altre trasformazioni negli ultimi 7 miliardi di anni. Nelle galassie attive, invece, si osserva mediamente un aumento del contenuto in metalli (stelle in Fig. 1) come conseguenza di una continua formazione stellare negli ultimi 7 miliardi di anni e della continua produzione di metalli nelle nuove generazioni di stelle. Tuttavia, per poter spiegare le relazioni attuali a partire da quelle passate è necessario che in una frazione delle galassie attive la formazione stellare venga soppressa, in accordo con altri studi indipendenti. Il nostro studio

For galaxies that are so distant – and hence faint and whose light is shifted toward red wavelengths that are hard to access from earth – obtaining good-quality spectra is an observational challenge, which has only recently become possible to address efficiently. With the help of an American collaboration, our group was able to take advantage of the IMACS spectrograph on the 6.5 metre diameter Magellan telescope at the Las Campanas Observatory to simultaneously obtain high-quality spectra for 80 massive galaxies at a distance of almost 7 billion light years, when the Universe was about half the age it is now.

By analysing the absorption in the spectra of these galaxies, it was possible for the first time to determine the average age and the metal content of the stellar populations in galaxies of such ancient epochs and put them in relation with the galaxy mass and star formation rate (see Figure 1). Through a direct comparison with the analogous relations observed in the present Universe, we noted that galaxies that were already inactive 7 billion years ago (circles in Figure 1) displayed metallicity comparable to their modern-day counterparts and stellar ages consistent with the mere ageing of the Universe. This would indicate that these galaxies have not undergone further changes in the last 7 billion years. In the active galaxies, on the other hand, we can observe on average an increase in the metal content (stars in Figure 1) as a consequence of continuous star-formation over the last 7 billion years and of the ongoing production of metals in the new generations of stars. Nevertheless, in order to explain the present relations on the basis of those of the past, it is necessary for star-formation to be quenched in a fraction of the active galaxies, and this tallies with other independent studies. Our study re-

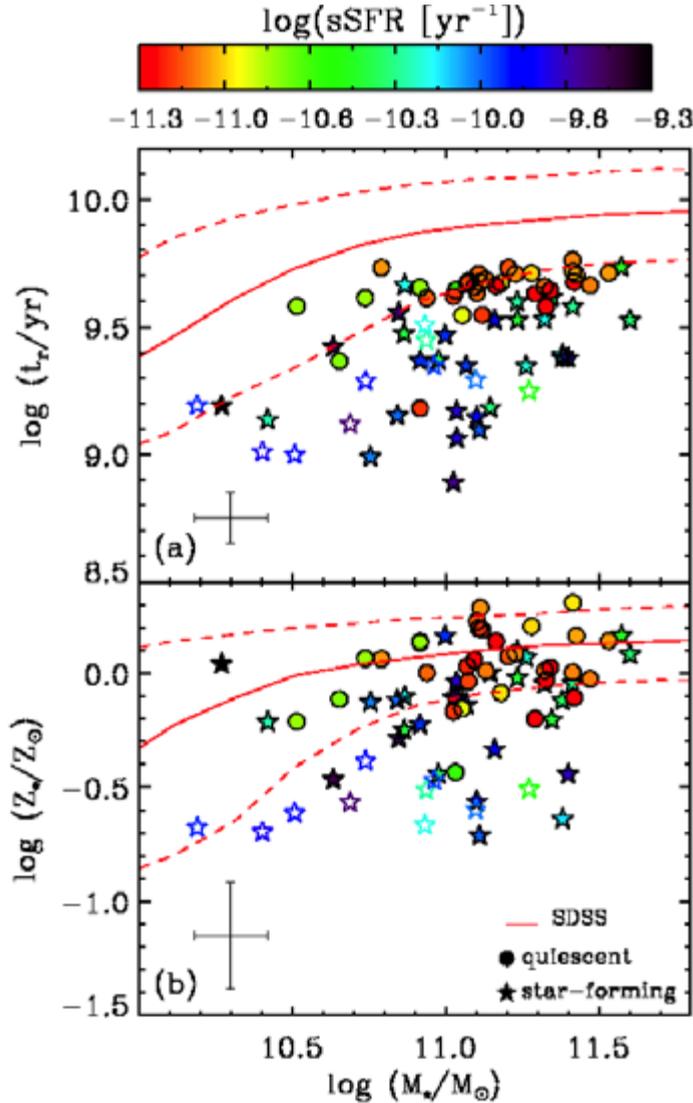


Figura 1. Età media (pannello a) e contenuto in metalli (pannello b) delle galassie osservate in questo studio in funzione della loro massa stellare. Queste sono confrontate con la regione occupata dalle galassie dell'Universo attuale nelle analoghe proprietà (racchiusa dalle curve tratteggiate), ricavata da uno studio precedente. Le galassie di questo studio sono distinte in galassie passive (cerchi) e attive (stelle) in base al loro tasso di formazione stellare specifico (indicato dal colore dei simboli, in ordine crescente dal rosso al violetto). Le galassie passive mostrano uno stadio evolutivo confrontabile alle galassie attuali, compatibilmente con l'invecchiamento dell'Universo. Le galassie attive, invece, hanno una maggiore diversità nelle loro proprietà e di conseguenza nel percorso evolutivo fino all'Universo attuale.

Figure 1. Average age (panel a) and metal content (panel b) of the galaxies observed in this study as a function of their stellar mass. These are compared with the range in the same properties spanned by galaxies in the present Universe derived from a previous study (enclosed between the dashed curves). The galaxies of this study are divided into quiescent (circles) and active (stars) galaxies on the basis of their specific star-formation rate (indicated by the colour of the symbols, on an increasing scale from red to violet). The quiescent galaxies display an evolutionary stage comparable to that of the present galaxies, compatible with the ageing of the Universe. The active galaxies, on the other hand, reveal a greater diversity of properties and consequently of their evolutionary progress towards the present Universe.

mostra l'esistenza nell'Universo giovane di galassie attive che avevano una metallicità già confrontabile a quella osservata nelle galassie inattive di oggi e che pertanto si qualificano come buone candidate a subire una interruzione nella loro formazione stellare.

Questo studio apre la strada ad ulteriori approfondimenti che saranno possibili con osservazioni analoghe su un maggior numero di galassie per determinare la rapidità a cui la formazione stellare viene inibita e su quale frazione di galassie.

## Bibliografia

Gallazzi, A., Bell, E.F., Zibetti, S., et al (2014), *Astrophysical Journal*, 788, 72

*Anna Gallazzi e Stefano Zibetti* si sono entrambi laureati in Fisica all'Università degli Studi di Milano-Bicocca e hanno conseguito il dottorato di ricerca in Astrofisica presso il Max-Planck-Institut fuer Astrophysik di Garching. Entrambi lavorano presso l'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Anna Gallazzi in qualità di Marie Curie-AstroFI fellow dal 2013, Stefano Zibetti come ricercatore dal 2012.

veals the existence in the young Universe of active galaxies with metallicity already comparable to that of the quiescent galaxies of today, and which therefore qualify as good candidates for undergoing an interruption in their star-forming activity.

This study opens the way to further explorations that can be performed by making similar observations on a greater number of galaxies in order to determine the speed with which star formation is quenched and in which fraction of galaxies.

## Bibliography

Gallazzi, A., Bell, E.F., Zibetti, S., et al (2014), *Astrophysical Journal*, 788, 72

*Anna Gallazzi and Stefano Zibetti* both have degrees in Physics from the Milano-Bicocca University and took their PhDs in Astrophysics at the Max-Planck-Institut fuer Astrophysik in Garching. They both work at the INAF-Arcetri Astrophysical Observatory, Anna Gallazzi in the capacity of Marie Curie-AstroFI fellow since 2013 and Stefano Zibetti as a researcher since 2012.

