



Astronomia extragalattica ad Arcetri

Extragalactic Astronomy at Arcetri

Filippo Mannucci¹, Leslie K. Hunt¹, Roberto Maiolino^{2,3,4}

¹ INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Largo E. Fermi 5, 50125, Firenze

² Kavli Institute for Cosmology, University of Cambridge, UK

³ Cavendish Laboratory, University of Cambridge, UK

⁴ Department of Physics and Astronomy, University College London, UK

Riassunto. L'astronomia extragalattica si sviluppò all'Osservatorio di Arcetri verso la fine degli anni '70, con l'arrivo del nuovo direttore Franco Pacini. La prima linea di ricerca dedicata a questo nuovo settore emerse da una collaborazione con la Cornell University sullo studio dell'idrogeno atomico. Successivamente il gruppo crebbe rapidamente durante gli anni '80 e '90 grazie all'inserimento di giovani ricercatori di talento. Oggi i temi scientifici includono lo studio dei nuclei galattici attivi, l'evoluzione chimica delle galassie, gli ammassi di galassie, la dinamica delle galassie e lo studio del mezzo interstellare. Il futuro degli studi extragalattici ad Arcetri trarrà vantaggio da strutture di osservazione all'avanguardia come l'Extremely Large Telescope, che entrerà in funzione nei prossimi anni.

Parole chiave. Astronomia extragalattica, nuclei galattici attivi, spettroscopia.

La nostra stella, il Sole, fa parte di una galassia, la Via Lattea, che comprende all'incirca 100 miliardi di stelle. Ma la nostra galassia è solo una fra diversi miliardi di galassie nell'Universo, e lo studio di queste galassie è uno dei filoni più

Abstract. Extragalactic science was introduced at the Arcetri Observatory towards the end of the 1970's, upon the arrival of a new director, Franco Pacini. The first dedicated line of research emerged in collaboration with Cornell University and the study of neutral hydrogen. The group grew rapidly during the 80's and the 90's, with the inclusion of talented young researchers. The science themes studied today include active galactic nuclei, the chemical evolution of galaxies, galaxy clusters, galaxy dynamics and the study of the interstellar medium. The future of extragalactic work at Arcetri will profit from state-of-the-art observational facilities such as the Extremely Large Telescope which will become operational in the next few years. **Keywords.** Extragalactic astronomy, active galactic nuclei, spectroscopy.

Our Sun resides in the disk of our galaxy, the Milky Way, comprising roughly 1000 billion stars. But our galaxy is only one among 100 billion galaxies in the Universe, and the study of these galaxies is one of the foundations of modern astrophysics. As it generally requires ac-

importanti dell'astrofisica moderna. Dato che in generale richiede dati accurati su oggetti piuttosto deboli, nasce più tardi rispetto all'astrofisica stellare e si afferma come campo astrofisico separato solo negli anni '30 del secolo scorso. L'Osservatorio di Arcetri comincia ad occuparsi di studi di oggetti fuori dalla nostra galassia alla fine degli anni '70, con l'arrivo di Franco Pacini alla direzione. I primi studi riguardano i nuclei galattici attivi (AGN) e sono sia teorici, sul meccanismo fisico alla base dell'emissione di questi oggetti (Pacini & Salvati 1978, 1982), sia osservativi, galassie di Seyfert nel vicino infrarosso (Moorwood & Salinari 1981). L'inizio di un'attività più continuativa avviene con l'arrivo a Firenze di Carlo Giovanardi, su invito di Pacini desideroso di aprire questo nuovo, promettente campo. Giovanardi, insieme al gruppo di Cornell di E. Salpeter, stava studiando la distribuzione e la dinamica dell'idrogeno neutro in galassie relativamente vicine (Helou et al. 1981; Giovanardi et al. 1983), filone di ricerca che rimarrà a lungo molto attivo all'osservatorio di Arcetri (Corbelli & Salucci 2000; Corbelli et al. 2010).

Negli stessi anni l'Osservatorio di Arcetri, insieme al Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze e il Centro CAISMI del CNR, intraprende la costruzione del nuovo e, per quegli anni, rivoluzionario Telescopio Infrarosso del Gornergrat (TIRGO), sulle alpi svizzere. Oltre a produrre vari lavori molto citati su temi extragalattici (Giovanardi & Hunt 1988; Gavazzi et al. 1996; Mannucci et al. 2001; Hunt et al. 2002, 2004) questo telescopio diventerà una palestra per lo sviluppo di strumentazione e contribuirà a creare un gruppo tecnologico oggi al centro della maggior parte dei più importanti progetti di sviluppo di strumen-

curate data on rather faint objects, extragalactic astrophysics was developed somewhat later than stellar astrophysics, only establishing itself as a separate astrophysical field in the 1930s. The Arcetri Observatory began studying extragalactic objects towards the end of the 1970's, with the arrival of Franco Pacini as Director. The first research focused on active galactic nuclei (AGN) both from theoretical and observational points of view, with formulations of the physical mechanism behind AGN emission (Pacini & Salvati 1978, 1982) and with infrared observations of nearby AGN, Seyfert galaxies (Moorwood & Salinari 1981). The beginning of a dedicated extragalactic line of research emerged at Arcetri with the arrival at the Observatory of Carlo Giovanardi, upon invitation by Pacini who wanted to launch this promising new field. Together with the Cornell group led by Ed Salpeter, Giovanardi was studying the distribution and kinematics of neutral hydrogen in nearby galaxies (Helou et al. 1981, Giovanardi et al. 1983), a line of research which continues to be active at the Arcetri Observatory (Corbelli & Salucci 2000; Corbelli et al. 2010).

At the same time, the Arcetri Observatory, together with the Physics Department of the University of Florence and the Center for Infrared Astronomy and the Study of the Interstellar Medium (CAISMI) of the National Council of Research (CNR), undertook the construction of a new, and for that time, revolutionary, Infrared Telescope of Gornergrat (TIRGO) in the Swiss Alps. Besides enabling a series of well-cited papers on extragalactic themes (Giovanardi & Hunt 1988; Gavazzi et al. 1996; Mannucci et al. 2001; Hunt et al. 2002, 2004), this facility was to become a springboard for instrument development and contribute to the creation of a

tazione per telescopi come il *Very Large Telescope*, il *Large Binocular Telescope*, e l'*Extremely Large Telescope* (VLT, LBT e ELT).

Negli anni '90 il gruppo si sviluppa velocemente a causa dell'arrivo di vari giovani ricercatori formati in istituti stranieri. Le attività si svolgono in maniera sempre molto integrata tra i 3 istituti coinvolti (Osservatorio, Università, CNR). Il centro del CNR viene alla fine unificato all'Osservatorio, mentre quotidiane collaborazioni con i ricercatori astronomi del dipartimento continuano ancora oggi. Negli anni '90 il campo di studio più attivo è quello degli AGN sotto la guida di Marco Salvati, sia dal punto di vista teorico che osservativo a molte lunghezze d'onda, dal lontano infrarosso ai raggi X. Alla fine degli anni '90 il satellite ASI-NIVR Beppo-SAX sta rivoluzionando questo campo, ed il gruppo di Arcetri contribuisce con importanti risultati sul modello unificato di AGN e sulle caratteristiche della polvere (Maiolino et al. 1998; Risaliti et al. 1999). Le interazioni tra AGN e galassia ospite sono anche studiate in dettaglio ottenendo evidenza di correlazioni molto strette tra la massa del buco nero centrale e la massa stellare della componente sferoidale della galassia ospite (Marconi & Hunt 2003; Marconi et al. 2004). Questi studi sugli AGN continuano ancora adesso e hanno portato a sviluppi inaspettati e potenzialmente molto importanti, come la proposta di usare gli AGN per misurare i parametri cosmologici (Risaliti & Lusso 2019).

A partire dall'inizio degli anni 2000 ricercatori di Arcetri iniziano a portare avanti grandi studi con i nuovi telescopi della classe degli 8 metri che allora erano entrati da poco in funzione, in particolare ESO/VLT. La survey K20 osserva un campione di galassie passive lontane ($z \sim 1.7$), scoprendo che, contrariamente

technological group that is now at the center of instrumentation innovation for large ground-based telescopes like the Very Large Telescope (VLT), the Large Binocular Telescope (LBT) and the Extremely Large Telescope (ELT).

The group developed quickly in the 1990's thanks to the arrival of young research scientists with experience abroad. Scientific activity and collaboration became increasingly integrated among the three Arcetri research institutes (Observatory, University, CNR), and ultimately, the CNR CAISMI center became part of the National Institute of Astrophysics (INAF), and finally merged with the Observatory. Today, the scientists of the Observatory and University are fully integrated into the fabric of Arcetri. The dominant extragalactic theme in the 90's led by Marco Salvati, was the study of accreting supermassive black holes (SMBHs) that produce AGN, both from both from theoretical and observational perspectives, across multi-wavelengths, ranging from infrared to X rays. At the end of the 90's, the ASI-NIVR satellite Beppo-Sax revolutionized this field of research and the Arcetri group made important contributions to the unified model of AGN and the understanding of the dust grains surrounding AGN (Maiolino et al. 1998; Risaliti et al. 1999). The study of the relationship between AGN and their host galaxy revealed evidence of very tight correlations between the mass of the central black hole and the stellar mass of the spheroidal component of the host galaxy (Marconi & Hunt 2003; Marconi et al. 2004). Similar studies of AGN continue to this day and have produced unexpected, potentially important results, such as the proposal to use AGN to measure cosmological parameters (Risaliti & Lusso 2019).

a quanto previsto dai modelli allora esistenti, queste galassie sono già vecchie e hanno già grande massa (Cimatti et al. 2002, 2004). Le survey AMAZE e LSD invece studiano le proprietà delle galassie con formazione di stelle, in particolare le abbondanze chimiche e dinamiche, misurando per la prima volta le abbondanze dei principali elementi a redshift ~ 3 (Maiolino et al. 2008; Mannucci et al. 2009). Insieme al problema della formazione della polvere e delle prime molecole (Galli & Palla, 1998; Maiolino et al. 2004; Bianchi & Schneider 2007), il tema delle abbondanze chimiche nel gas e nelle stelle è stato sempre molto presente negli studi del gruppo extragalattico di Arcetri, che ha ottenuto rilevanti risultati e contribuito a definire le più importanti relazioni di scala (Ferrara et al. 2000; Schneider et al. 2002; Gallazzi et al. 2005, Salvadori et al. 2007; Mannucci et al. 2010). Ricercatori del gruppo extragalattico sono stati e sono tuttora attivi in particolare nello studio della distribuzione della massa stellare e degli elementi chimici nelle galassie usando dati *integral field*, contribuendo ai principali studi nel settore (Cresci et al. 2010; Zibetti et al. 2009; Belfiore et al. 2019). Questi strumenti spettroscopici hanno anche permesso lo studio della dinamica di galassie ad alto redshift e lo studio del *feedback* dell'AGN sulla galassia ospite con la formazione di venti molto veloci che possono svuotare la galassia di gas e fermare la formazione di nuove stelle (Cresci et al. 2015). Contemporaneamente l'approccio *multi-wavelength* di molti studi di AGN, galassie e ammassi di galassie ha portato a rilevanti risultati nei raggi X (Nardini et al. 2015; Tozzi et al. 2022).

L'avvento di telescopi a lunghezze d'onda infrarosse come lo *Spitzer Space Telescope* e lo *Herschel Space Observatory* ha permesso ai ricercatori di Arcetri di

From the beginning of the new millennium, Arcetri's extragalactic scientists began conducting large-scale studies using the new 8-metre class of telescopes which had just become operational at the time, particularly the ESO/VLT. The K20 survey (Cimatti et al. 2002, 2004) of remote passive galaxies ($z \leq 1.7$) revealed that, contrary to what had previously been thought, such galaxies are already highly evolved and massive. The AMAZE and LSD surveys of star-forming galaxies (Maiolino et al. 2008; Mannucci et al. 2009) on the other hand, concentrate on chemical abundances and internal kinematics, measuring abundances of redshift $z \geq 3$ for the first time. Together with the problem of dust grain and molecule formation in the primordial universe (Galli & Palla, 1998; Maiolino et al. 2004; Bianchi & Schneider 2007), studies of chemical abundances in gas and stars are still one of the main themes of the Arcetri extragalactic group's research, producing important results and helping define some of the most important modern scaling relations (Ferrara et al. 2000; Schneider et al. 2002; Gallazzi et al. 2005, Salvadori et al. 2007; Mannucci et al. 2010). Researchers from the extragalactic group have also been and continue to be active in the study of distributions of stellar mass and chemical elements in galaxies, using "integral field units", producing some of the main results in the field (Cresci et al. 2010; Zibetti et al. 2009; Belfiore et al. 2019). These spectroscopic instruments have also enabled the study of galaxy dynamics at high redshift and of the effect of AGN on the host galaxy (known as AGN 'feedback'). AGN feedback can produce high-velocity galactic winds that can empty the galaxy of gas and quench star formation (Cresci et al. 2015). At the same time, X-ray studies of AGN, galaxies, and galaxy clusters have produced important results (Nardini et al. 2015; Tozzi et al. 2022).

studiare le proprietà della polvere in galassie vicine (Hunt et al. 2010; Bianchi & Xilouris 2011; Bianchi et al. 2018; di Serego et al. 2013; Hunt et al. 2015), e valutare la relazione della polvere con il gas (Corbelli et al. 2013). Con la costruzione dell'Atacama Large Millimeter Array (ALMA), è stato possibile analizzare le cinematiche di galassie pressoché primordiali (Lelli et al. 2022).

Dagli anni '80, lo studio di galassie è stato uno dei campi importanti ad Arcetri, e la nuova strumentazione sviluppata anche ad Arcetri, montata sui telescopi terrestri più grandi mai costruiti come lo ELT in Chile, renderà questo campo di astrofisica ancora più fruttuoso negli anni a venire.

Filippo Mannucci è Dirigente di Ricerca all'INAF-OAA. È stato direttore dell'Osservatorio di Arcetri dal 2012 al 2017. Si occupa di evoluzione delle galassie e di supernovae.

Leslie K. Hunt è Dirigente di Ricerca in quiescenza a INAF-OAA. I suoi interessi scientifici includono lo studio dell'interazione tra la formazione stellare e il mezzo interstellare in ambienti galattici estremi.

Roberto Maiolino è Professore di Astrofisica all'Università di Cambridge, UK. È anche Professore Onorario all'University College di Londra e Research Professor della Royal Society di Londra. Dal 2016 al 2021 è stato Direttore del Kavli Institute for Cosmology a Cambridge.

The advent of infrared telescopes such as the *Spitzer Space Telescope* and the *Herschel Space Observatory* have enabled Arcetri's scientists to study the properties of dust in nearby galaxies (Hunt et al. 2010; Bianchi & Xilouris 2011; Bianchi et al. 2018; di Serego et al. 2013; Hunt et al. 2015) and assess the relation of gas with dust (Corbelli et al. 2013). With the construction of the Atacama Large Millimeter Array (ALMA), it has been possible to analyze the kinematics of distant galaxies formed at the dawn of the Universe (Lelli et al. 2022).

The study of galaxies has been among the most important research themes at Arcetri since the 1980s and the new instrumentation developed also at Arcetri, mounted on the largest ground-based telescopes ever built (ESO ELT), will render this line of research even more fruitful in the years to come.

Filippo Mannucci is "Dirigente di Ricerca" at INAF-OAA. He was director of the Arcetri Observatory from 2012 to 2017. He works on galaxy evolution and supernovae.

Leslie K. Hunt is a "Dirigente di Ricerca", now "in quiescenza" at INAF-OAA. Her scientific interests include the study of how extreme physical conditions in galaxies affect the way that stars form in them, and the interaction of the interstellar medium with the process of star formation.

Roberto Maiolino is professor of Astrophysics at the University of Cambridge. He is also Honorary Professor at University College London and Royal Society Research Professor. From 2016 to 2021 he was Director of the Kavli Institute for Cosmology, Cambridge.



Figura 1. Il Gruppo extragalattico di Arcetri fotografato il 17 Novembre 2022 nel giorno del 150esimo anniversario dell'Osservatorio. In piedi, da sinistra: B. Trefoloni, S. Bianchi, E. Nardini, T. Oliva, E. Corbelli, F. Mannucci, M. Salvati, L. Hunt, G. Cresci, G. Tozzi, G. Risaliti, M. Rossi, V. Gelli, A. Mori, F. Salvestrini, S. Zibetti. In basso: A. Marconi, R. Maiolino, S. Salvadori, F. Belfiore, L. Ulivi, M. Scialpi, E. Di Teodoro, I. Vanni, C. Marconcini, J. Parenti, A. Gallazzi. Assenti: P. Tozzi, E. Lusso, A. Skúladóttir, D. Aguado, I. Koutsouridou, N. Tomičić, A. Amiri, A. Sacchi, M. Signorini, M. Lepore, R. Lucchesi (crediti: Rossella Spiga).

Figure 1. The Extragalactic Group of Arcetri on November 17, 2022, the day of the Observatory's 150th anniversary. Standing, from left: B. Trefoloni, S. Bianchi, E. Nardini, T. Oliva, E. Corbelli, F. Mannucci, M. Salvati, L. Hunt, G. Cresci, G. Tozzi, G. Risaliti, M. Rossi, V. Gelli, A. Mori, F. Salvestrini, S. Zibetti. Below: A. Marconi, R. Maiolino, S. Salvadori, F. Belfiore, L. Ulivi, M. Scialpi, E. Di Teodoro, I. Vanni, C. Marconcini, J. Parenti, A. Gallazzi. Absent: P. Tozzi, E. Lusso, A. Skúladóttir, D. Aguado, I. Koutsouridou, N. Tomičić, A. Amiri, A. Sacchi, M. Signorini, M. Lepore, R. Lucchesi (credits: Rossella Spiga).