



Il Colle di
Galileo

L'espansione dell'Universo illuminata dai quasar

The Expansion of the Universe Illuminated by Quasars

Emanuele Nardini¹, Elisabeta Lusso²

¹ INAF-OAA, Italia

² Università di Firenze, INAF-OAA, Italia

Riassunto. Una imminente campagna del telescopio spaziale XMM-Newton osserverà 18 quasar situati ad oltre 12 miliardi di anni luce da noi, allo scopo di verificare possibili discrepanze con le distanze previste dal modello cosmologico standard e investigare il ruolo dell'energia oscura nell'Universo primordiale.

Fin dalla scoperta dei quasar, i più luminosi tra i nuclei galattici alimentati da buchi neri supermassicci in accrescimento, il loro potenziale utilizzo come pietre miliari nella scala di distanze cosmiche ha fortemente attratto gli scienziati. Benché i quasar difettino della caratteristica fondamentale per essere considerati “candele standard”, ovvero una luminosità nota e uniforme, le loro distanze si possono ricavare da una relazione empirica che lega la loro luminosità assoluta al rapporto tra emissione ultravioletta ed emissione nei raggi X, simile alle relazioni tra luminosità e periodo nelle Cefeidi e tra luminosità di picco e velocità di decadimento nelle supernove Ia, le classi di candele standard più consolidate. Negli ultimi anni, il notevole perfezionamento di questa tecnica da parte di ricercatori dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri e del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze ha consentito di rivelare una possibile discrepanza

Abstract. An upcoming campaign by the XMM-Newton space telescope is going to observe 18 quasars located more than 12 billion light-years away from us, with the aims of checking for possible discrepancies with respect to the distances predicted by the standard cosmological model, and investigating the role of dark energy in the early Universe.

Ever since the discovery of quasars – the brightest of the galactic nuclei powered by accreting supermassive black holes – their potential use as milestones on the cosmic distance scale has greatly attracted scientists. Despite the fact that quasars lack the fundamental characteristic required to be considered “standard candles” (i.e. a known and uniform luminosity), their distances can be calculated based on an empirical relationship linking their absolute luminosity to the ratio of ultraviolet to X-ray emission, similar to the relationships between luminosity and period in Cepheids and between peak luminosity and decay rate in Type Ia supernovae, the most established classes of standard candles. Significant refinements to this technique by

(Fig. 1) tra le distanze dei quasar più lontani e le previsioni del modello cosmologico standard (il Λ CDM). Questo risultato si somma ai sempre più numerosi studi che, tramite indicatori cosmologici indipendenti, evidenziano i limiti del modello Λ CDM, rendendo ormai inevitabile la prospettiva di una profonda rivisitazione della storia di espansione dell'Universo.

È in questo contesto che si inserisce una nuova campagna a guida INAF/OAA e UniFi che prevede l'osservazione nei raggi X di 18 quasar ad alto redshift ($z \sim 4$), la cui luce è stata emessa poco più di un miliardo di anni dopo il Big Bang. Con un totale di 325 ore di osservazione, si tratta del più grande programma di osservazione assegnato per il telescopio spaziale XMM-Newton dell'Agenzia Spaziale Europea nel 2025 (con osservazioni a partire da maggio 2026). Il principale obiettivo scientifico è quello di estendere il diagramma di Hubble ad epoche cosmiche fin qui scarsamente esplorate, per verificare ogni ulteriore deviazione rispetto al modello Λ CDM ed investigare il ruolo dell'energia oscura nell'espansione dell'Universo. La qualità degli spettri richiesta per misurare le distanze con sufficiente accuratezza è senza precedenti per un campione omogeneo di quasar a redshift così elevato, e consentirà pertanto anche di studiare in dettaglio vari aspetti della fisica dell'accrescimento dei buchi neri supermassicci nell'Universo primordiale.

Emanuele Nardini è ricercatore presso l'INAF/OAA. Si occupa dei fenomeni di alta energia associati all'accrescimento dei buchi neri supermassicci, principalmente tramite l'osservazione nei raggi X dei nuclei galattici attivi.

researchers at the Arcetri Astrophysical Observatory and the Department of Physics and Astronomy at the University of Florence in recent years have revealed a possible discrepancy (Figure 1) between the distances of the most distant quasars and the predictions of the standard cosmological model (the Λ CDM). This result joins the growing body of studies which, using independent cosmological indicators, highlight the limitations of the Λ CDM model, making a thorough reassessment of the history of the Universe's expansion now inevitable.

It is within this context that a new campaign led by INAF/OAA and UniFi, involving X-ray observations of 18 high-redshift quasars ($z \sim 4$), whose light was emitted just over a billion years after the Big Bang, has been launched. With a total of 325 hours of observation, this is the largest observational programme assigned by the European Space Agency's XMM-Newton space telescope in 2025 (with observations commencing in May 2026). The main scientific aim is to extend the Hubble diagram to cosmic epochs that have so far been little explored, in order to check for any further deviation from the Λ CDM model and to investigate the role of dark energy in the expansion of the Universe. The spectral quality required to measure distances with sufficient accuracy is unprecedented for a homogeneous sample of quasars at such high redshifts, and will also allow the detailed study of various aspects of the physics of supermassive black hole accretion in the early Universe.

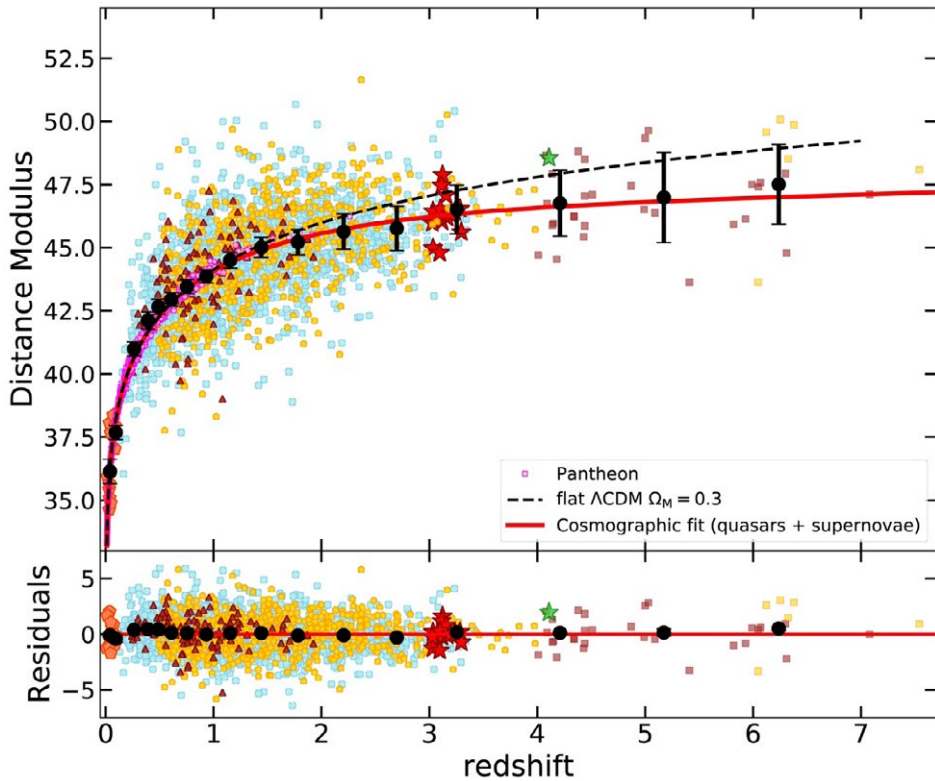


Figura 1. Diagramma di Hubble costruito con diversi campioni di quasar (vari simboli e colori) e calibrato a basso redshift sulle distanze delle supernove di tipo Ia (punti magenta). L'accuratezza delle distanze stimate per i singoli quasar è decisamente inferiore a quella relativa alle supernove, ma la dispersione osservata è compensata in gran parte dal maggior numero di sorgenti disponibili. Le distanze dei quasar mediate su intervalli ristretti di redshift (punti neri) sono perfettamente consistenti con quelle ricavate dalle supernove nelle epoche comuni, ma si discostano dalle previsioni del modello Λ CDM (curva nera tratteggiata) a redshift più alti. Questo grafico è tratto da Lusso et al. (2020), A&A vol. 642, A150.

Figure 1. Hubble diagram created using different samples of quasars (various symbols and colours) and calibrated at low redshift against the distances of Type Ia supernovae (magenta dots). The accuracy of the distances estimated for individual quasars is significantly lower than for supernovae, but the observed dispersion is largely offset by the greater number of available sources. The distances of the quasars averaged over narrow redshift intervals (black dots) are perfectly consistent with those deduced from supernovae in the common epochs but deviate from the predictions of the Λ CDM model (dashed black curve) at higher redshifts. This chart is taken from Lusso et al. (2020), A&A vol. 642, A150.

Elisabeta Lusso è professoressa associata presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia (UniFi). Studia la fisica dell'accrescimento dei buchi neri supermassicci tramite osservazioni multi-banda dei nuclei galattici attivi.

Emanuele Nardini is a researcher at INAF/OAA. He studies high-energy phenomena associated with the accretion of supermassive black holes, mainly through X-ray observations of active galactic nuclei.

Elisabeta Lusso is an associate professor at the Department of Physics and Astronomy (UniFi). She studies the physics of supermassive black hole accretion through multi-wavelength observations of active galactic nuclei.