

CONVENZIONE TRA L'UNIVERSITA' DEGLI STUDI TORINO - DIPARTIMENTO DI... PER IL

FINANZIAMENTO DI N. 1 BORSA DI STUDIO DA USUFRUIRSI NELL'AMBITO DEL PROGETTO

DI RICERCA DAL TITOLO "Unveiling the nature of extragalactic jets"

TRA

Il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Torino(nel prosieguo

denominato semplicemente Dipartimento), C.F. 80088230018 P.I. 02099550010,

con sede in via P. Giuria 1, Torino, rappresentata dal Direttore Prof. Silvano

Massaglia, nato a Saluggia (VC) il 4/11/1951, autorizzato alla stipula del

presente atto con deliberazione del Consiglio di Dipartimento in data

18/06/2018

E

L' Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), nel prosieguo denominato sempli-

cemente Istituto, C.F. 97220210583, con sede legale in Viale del Parco Mellini

,84 Roma, rappresentato dal Presidente, prof. Nicolò D'Amico, nato a Palermo

il 28 giugno 1953, in qualità di Rappresentante Legale

PREMESSO

- che l'Istituto opera nel campo dell'astronomia e dell'astrofisica ed è

interessato ad acquisire, sviluppare ed applicare metodologie di ricerca nei

settori di propria attività, stabilendo contatti con enti pubblici che abbiano

interessi di ricerca nello stesso settore;

- che il gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Francesco Massaro che opera

presso il Dipartimento già da tempo ha sviluppato ricerche di base ed appli-

cative nel settore dell' astronomia e dell' astrofisica ed è interessato a

sperimentare ed applicare i risultati fin qui ottenuti collaborando con enti ed aziende che operano direttamente nel settore specifico;

- che, giusta l'art. 66 del D.P.R. 11.7.1980 n. 382, le Università, purché non vi osti lo svolgimento della loro funzione scientifica e didattica, possono eseguire attività di ricerca e consulenza mediante contratti e convenzioni con enti pubblici e privati;

SI CONVIENE E SI STIPULA QUANTO SEGUE

Art. 1

Il Dipartimento si impegna ad eseguire in collaborazione con l'Istituto un programma di ricerca dal titolo "Unveiling the nature of the extragalactic jets".

Il programma di ricerca è descritto nell'allegato A facente parte integrante della presente convenzione.

Modifiche al programma di ricerca potranno essere introdotte nel corso della convenzione, previo accordo tra i responsabili scientifici.

Art. 2

La presente convenzione decorre dalla data di stipula e termina con la fine della borsa di studio. Durante il suo svolgimento il Dipartimento si impegna, per se o su richiesta dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, a tenere aggiornato l'Istituto sull'andamento delle attività di ricerca svolta nell'ambito della suddetta borsa di studio.

Art. 3

Le attività di cui al programma di ricerca saranno svolte presso le strutture del Dipartimento e, qualora le esigenze della ricerca lo richiedano, presso la sede dell'INAF - Osservatorio Astrofisico di Torino sito in via Osservatorio, 20a Pino Torinese, con modalità da definire tra i responsabili scientifici.

Art. 4

Ogni qualvolta le esigenze della ricerca lo richiedano, a giudizio dei responsabili scientifici e con le modalità e i tempi dagli stessi definiti, potrà realizzarsi lo scambio tra il personale di ricerca del Dipartimento e dell'Istituto.

Ciascuna parte garantirà idonea copertura assicurativa nei confronti del proprio personale che, in virtù della presente convenzione, venga chiamato a frequentare le strutture dell'altra parte.

I nominativi del personale che si rechi presso le strutture dell'altro ente contraente dovranno essere oggetto di comunicazione scritta a cura dei responsabili scientifici del programma di ricerca.

Il personale medesimo è tenuto ad uniformarsi ai regolamenti disciplinari e di sicurezza in vigore nelle strutture in cui si trova ad operare.

Art. 5

Il Dipartimento si impegna a fornire relazioni periodiche sullo stato di avanzamento dei lavori e sui risultati parziali raggiunti secondo le modalità e i tempi definiti dai responsabili scientifici.

Art. 6

L'Istituto si assume l'impegno di finanziare ed erogare n 1 (una) borsa di studio destinata a laureati in materie attinenti il tema della ricerca,

scelti di comune accordo tra i due enti. I borsisti di cui sopra saranno dotati di idonea copertura assicurativa contro gli infortuni e per malattie contratte a causa del lavoro svolto, nonché per responsabilità civile nei confronti di persone e/o cose del Dipartimento.

L'Istituto si impegna a versare al Dipartimento € 42000,00, tale importo sarà corrisposto sul C/C IT04X0100003245114300037135 Presso Sezione Provinciale di Torino - Banca d'Italia a seguito di emissione di nota debito da parte del Dipartimento in tre soluzioni annuali come di seguito indicato:

primo anno, € 14.000 entro 30 gg dalla data di stipula della presente convenzione, - secondo anno, € 14.000 entro il 30 giugno 2019, - terzo anno, € 14.000 entro il 30 giugno 2020. L'Istituto si impegna a versare al Dipartimento una quota aggiuntiva di € 4500,00, quindi pari ad un importo di € 1500,00 per ciascuno dei tre anni, al fine di garantire il rimborso delle spese per missioni, riunioni di collaborazione scientifica e/o partecipazioni a conferenze/convegni del vincitore della borsa di studio. Tale importo sarà corrisposto in tre soluzioni annuali, in aggiunta agli importi precedentemente indicati, e con le stesse tempistiche e le stesse modalità.

L'Istituto si impegna, inoltre, a garantire il pagamento degli eventuali adeguamenti delle borse per l'elevazione dell'importo netto o per sopravvenuti inasprimenti fiscali, effettuando il versamento delle somme necessarie entro trenta (30) giorni dalle relative comunicazioni da parte del Dipartimento.

Art. 7

Il conferimento della suddetta borsa di studio non dà luogo a rapporti di lavoro subordinato con l'Istituto Nazionale di Astrofisica o con l'Università degli studi di Torino.

Qualora per qualsiasi motivo, cessi l'obbligo dell'Università degli Studi di Torino di corrispondere la borsa all'assegnatario, ovvero in caso di mancata corresponsione di parte dei ratei della borsa di studio, le parti concorderanno le modalità di impiego delle somme versate dal finanziatore e non utilizzate, nonché le modalità dell'eventuale prosecuzione del rapporto convenzionale.

Art. 8

Il Dipartimento e l'Istituto Nazionale di Astrofisica. riconoscono che la pubblicazione e/o la divulgazione (sotto qualsiasi forma) dei dati, informazioni e/o risultati ottenuti dall'attività formativa del borsista potrà essere vantaggiosa per entrambe le parti, purché tali pubblicazioni/divulgazioni siano soggette a ragionevoli controlli per proteggere eventuali risultati brevettabili.

Se il Dipartimento intende eseguire pubblicazioni o qualsiasi altra forma di divulgazione pubblica - sia orale sia scritta o in qualsiasi altra forma - relativa ai temi di ricerca di cui sopra, alle informazioni, ai dati e/o ai risultati ottenuti nell'ambito di tali temi di ricerca, il Dipartimento fornirà all'Istituto Nazionale di Astrofisica le bozze dei testi destinati alla pubblicazione/divulgazione prima della data programmata per la pubblicazione/divulgazione.

Art. 9

Nel caso in cui i risultati dell'attività di ricerca svolta nell'ambito della suddetta borsa siano suscettibili di invenzione brevettabile, o tutelabile attraverso altre forme di privativa industriale, il Dipartimento informerà immediatamente mediante comunicazione scritta l'Istituto che dovrà esprimere il proprio interesse a tale risultati entro 30 giorni dalla comunicazione.

Nel caso in cui l'Istituto Nazionale di Astrofisica non abbia interesse al deposito di domande di brevetto o alla tutela in altra forma dei suddetti risultati, il borsista potrà decidere autonomamente se procedere ai suddetti depositi o tutele degli stessi risultati diventandone, pertanto, titolare esclusivo. Nel caso in cui ci sia almeno un coinventore dipendente dell'Università, l'Università è titolare di ogni eventuale diritto di privativa. In ogni caso, l'Istituto Nazionale di Astrofisica avrà un diritto di prelazione sulla cessione o licenza dei brevetti stessi nel caso in cui il titolare riceva da terzi richieste di cessione o licenza del brevetto ritenute di interesse per il titolare stesso, l'Istituto eserciterà la prelazione alle stesse condizioni dell'offerta dei terzi.

Diversamente, nel caso in cui l'Istituto Nazionale di Astrofisica, entro il termine di cui sopra, comunichi il proprio interesse in relazione ai risultati dell'attività di ricerca, l'Istituto acquisirà la piena titolarità dei risultati stessi con libertà di depositare relative domande di brevetto.

Nel caso di deposito delle suddette domande:

a) Il borsista e gli eventuali altri inventori afferenti al Dipartimento si impegnano, senza ulteriori costi per l'Istituto, a supportare l'Istituto Nazionale di Astrofisica nella stesura della relativa domanda;

b) L'Istituto sosterrà integralmente i costi di deposito e gli eventuali successivi costi di estensione e di mantenimento del brevetto.

A titolo di riconoscimento del suddetto trasferimento, L'Istituto riconoscerà al Dipartimento, ancorché sia trasferito a terzi il diritto al deposito di brevetto, un ulteriore somma complessiva pari ad Euro 5000,00 (cinquemila//00)

da erogare all'atto di deposito della prima domanda di brevetto prioritaria da parte dell'Istituto.

In tutti i casi su esposti è in ogni caso garantito il diritto dell'autore/inventore ad essere riconosciuto come tale in tutti gli atti concernenti il deposito, la registrazione, la brevettazione o ogni altra forma di tutela di privativa industriale. Tutte le procedure previste devono comunque garantire al borsista la pubblicazione dei propri lavori.

Art. 10

Il Dipartimento si impegna a garantire nei confronti dell'Istituto il riserbo su tutte le informazioni ricevute da quest'ultima, a non divulgarle a terzi se non dietro esplicita autorizzazione scritta dell'Istituto e a utilizzarle esclusivamente nell'ambito delle ricerche oggetto della presente convenzione.

Art.11

La responsabilità scientifica dell'attuazione della presente convenzione è affidata, da parte universitaria al Prof. Francesco Massaro e da parte dell'Istituto Nazionale di Astrofisica del Dott. Filippo Maria Zerbi.

Art. 12

Per qualsiasi controversia che potesse sorgere in merito all'applicazione della presente convenzione è competente il Foro di Torino.

Art. 13

La presente convenzione è assoggettata ad imposta di bollo fin dall'origine, dovuta sul proprio esemplare è assolta in modo virtuale (Art.15 del DPR n. 642 del 26 ottobre 1972) per l'Università degli Studi di Torino

sulla base dell'autorizzazione dell'Agenzia delle Entrate ufficio di Torino 1

del 4/07/1996 prot. 93050/96 rif. (75).

La presente convenzione è sottoscritta Digitalmente ai sensi dell'art. 15,

comma 2bis della legge n. 241/90) e condivisa tramite PEC:

Dipartimento : fisica@pec.unito.it

INAF: inafsedecentrale@pcert.postecert.it

Torino, letto e sottoscritto digitalmente

PER IL DIPARTIMENTO DI Fisica

DELL'UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TORINO

Il Direttore del Dipartimento

Prof. Silvano Massaglia

Il Responsabile Scientifico

Prof. Francesco Massaro

Il Direttore della Direzione Ricerca e Terza Missione

Dott. Marco Degani

PER L'ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

IL PRESIDENTE

Prof. Nicolò D'Amico

1 Scientific background

1.1 The radio classification

Extragalactic radio sources can be described naturally with a small number of components: core, jets, hotspots and lobes.

In 1974, it was first noticed by Fanaroff and Riley [3] that the relative positions of regions of high and low surface brightness in the extended regions of extragalactic radio sources are correlated with their radio luminosity. This conclusion was based on a set of 57 radio galaxies and quasars, from the complete 3C catalogue, which were resolved at 1.4 GHz or 5 GHz in two or more components. Fanaroff and Riley divided this sample in two classes using the ratio R_{FR} of the distance between the regions of highest surface brightness on opposite sides of the central galaxy or quasar, to the total extent of the source up to the lowest brightness contour in the map. Sources with $R_{FR} < 0.5$ were placed in Class I and sources with $R_{FR} > 0.5$ in Class II.

It was found that nearly all sources with luminosity $L_{178MHz} \leq 2 \times 10^{25} h_{100}^{-2} \text{ W Hz}^{-1} \text{ str}^{-1}$ were of Class I while the brighter sources were nearly all of Class II. The luminosity boundary between them is not very sharp, and there is some overlap in the luminosities of sources classified as FR I or FR II on the basis of their structures.

Various properties of sources in the two classes are different, which is indicative of a direct link between luminosity and the way in which energy is transported from the central region and converted to radio emission in the outer parts. In 1995, Baum et al. [1] suggested that FR Is are produced when the accretion rate onto the central black hole is low, and the black hole has relatively less angular momentum, while FR IIs arise when the accretion rate is high and the hole spins more rapidly. The different degrees of black hole spin make a difference to the jet nature produced. Different jet properties can lead to different levels of interaction with the ambient medium, creating different radio morphologies.

1.2 The X-ray emission

Radio to optical emission of extended structures in extragalactic jets is described in terms of synchrotron radiation by relativistic particles while X-ray emission is still unclear, but certainly non-thermal [4].

The main dichotomy lies in which mechanism, synchrotron or inverse Compton (IC) scattering, dominates. The former describes emission from low power

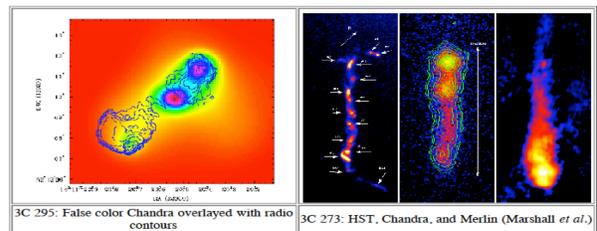
jets [8], while the latter provides a good explanation for high power jets, in which the seed photons for the IC scattering could be those of the Cosmic Microwave Background (CMB) [2,5].

Combining X-ray observations with data in other wavebands, it is possible to build up the SED of jet knots and hotspots to test the synchrotron, Synchrotron Self Compton (SSC) or IC/CMB models. Thus a multiwavelength approach is necessary to unveil the origin of high energy emission because, in all these scenarios, the behavior of particles responsible for the radio to optical spectrum is reflected at high energies in different ways.

1.3 The XJET project

In 2001 the XJET website, a publicly available list of jets and hotspots detected in the X-ray band, was created: <http://hea-www.harvard.edu/XJET/>

XJET: X-RAY EMISSION FROM EXTRAGALACTIC RADIO JETS



MOTIVATION

This website is meant to serve as a clearing house for radio galaxies and quasars for which X-ray emission has been detected which is associated with radio jets, i.e. knots and hotspots. As resources permit, we will also provide downloadable fits images for public use. If you would like to donate a fits image, have a new example to add to the list, or find erroneous or incomplete information, please email [D. Harris](mailto:D.Harris)

Figure 1: Screen capture of the XJET webpage.

This web-database was developed to investigate properties of jet knots and hotspots in X-ray. Images and downloadable files are being made available on the XJET page to allow the scientific community to investigate the X-ray emission of jets and hotspots detected in the Chandra era. This web-catalog also represents a unique tool to perform statistical studies on jet knots and hotspots, spanning a wide range of redshift from the closest jet in Centaurus A to the most distant knot detected in the quasar at $z=4.3$.

During the Chandra Cycles 9,12,13,15 and 17, a snapshot program to observe radio galaxies selected from the Third Cambridge catalog (3C) has been also executed. Many jet knots and hotspots were detected in the X-rays during this snapshot survey extending the XJET catalog. All the main references concerning the XJET project and the 3CR Chandra snapshot survey are reported in the previous section.

1.4 Open questions

Studying the ratio between the radio and the X-ray fluxes (R_{rx}) for half of the sources already present in the XJET catalog, and investigating the behavior of their X-ray hardness ratios (HR_x) we did not find any direct evidence of differences between extended components (jets and hotspots) between the FR I/FR II radio galaxies and/or quasars. This argument is completely unexpected on the basis of the different processes used to describe their X-ray emission (mainly synchrotron vs inverse Compton).

It is difficult to believe that these sources are combining their parameters (e.g. volume, density, magnetic field, beaming factor etc.) to have a similar value of R_{rx} and/or HR_x , especially when considering sources at different redshifts where the inverse Compton emission is affected by the CMB energy density that increases as $(1+z)^4$.

This led us to conclude that in terms of high energy emission it is not possible to distinguish between jet knots or hotspots both and between radio galaxies or quasars. The crucial problem is that the nature of their X-ray emission has probably a different origin with respect to the several scenarios proposed.

2 Ph.D. project

First, it is necessary to update the number of sources with an X-ray detection of a jet knot/hotspot in the XJET database to have a more complete understanding of their behavior. An extensive search in the Chandra archive is the starting point of the proposed Ph.D. project. In parallel it is also important to know the correct amount of optical and infrared observations available in the archives of Spitzer, Hubble and ground based telescopes to extend the XJET database to other frequencies. All the radio images at least at two different frequencies are already available to our team with resolution comparable to that of other telescopes. For a set of most interesting hotspots in the sample, the Ph.D. student will analyze high angular resolution optical and IR observations obtained with the VLT carried out by our team (P.I. Dr. Prieto). **This is a direct connection with the research activity carried out at IAC, thanks to proprietary data available and their extensive expertise in data reduction.**

Second, it will be crucial to perform the data reduction and the photometry of the X-ray detected jet knots and hotspots necessary to build their broadband SEDs using our extensive multi-wavelength dataset

Then, assuming simple spectral models (e.g. single or a broken power-law, or a power-law with an exponential cut-off) to describe these SEDs, it is possible to estimate values of R_{rx} and/or HR_x , and extend this to other optical and infrared frequencies where data

are available. For different values of the spectral parameters (e.g. slopes, cut-off, breaks) it is possible to reproduce the observed ranges of flux density ratios and hardness ratios to obtain a first constrain on the shape of the particle energy distribution. Our team is already involved in this analysis [5,6].

Finally, a numerical semi-analytical code will be created to model the high energy emission of jets, based on the non-thermal emission process synchrotron, SSC and IC/CMB and defined by a small number of intrinsic model parameters: the particle energy distribution, the redshift, the magnetic field, the beaming factor, the photon energy density, the source size. Then, using MonteCarlo simulations, it will be possible to constraint wide distributions of the intrinsic model parameters, to understand which combinations of them can reproduce the observed values of flux density ratios and hardness ratios. To achieve this aim, the Ph.D. student will use, as guidance, codes developed within the PARSEC group at IAC [7].

3 Plan of activity

First year: During the 1st year the Ph.D. student will carry out the extensive search for radio sources with a jet knot/hotspot detected in the X-rays by Chandra and extending this search to other databases to implement and update the XJET catalog.

Then the Ph.D. student will start the data reduction of these observations in these X-ray, optical, infrared energy ranges. These data are fundamental to constrain the parameters for the simulations used to test the synchrotron and the inverse Compton scenarios. She/he will contribute in its maintenance computing the flux density ratios and the hardness ratios for all XJET sources.

Second year: The 2nd year will be mainly devoted to the completion of the data reduction and analysis part of the project. Then the Ph.D. student will work on the development of her/his SSC and an IC/CMB numerical codes to describe the SED of extragalactic jets performing calculations under the equipartition condition and for several electron distributions.

Third year: During the last year the Ph.D. student will dedicate her/his efforts to the theoretical interpretation, comparing results of data reduction and analysis with those arising from the numerical simulations, also adopting a MonteCarlo approach. This will test the different scenarios (synchrotron vs IC) with different assumptions (e.g. the shape of particle energy distribution, equipartition, etc.) to unveil emission processes in extragalactic jets.

References: [1] Baum, S. A. et al. 1995 ApJ, 451, 88; [2] Celotti, A. et al. 2001 MNRAS, 321, 1; [3] Fanaroff, B.L. & Riley J.M. 1974 MNRAS, 167, 31; [4] Harris, D.E. et al. 2006 ARAA, 44, 63; [5] Mack et al. 2009 MNRAS 392; [6] Orienti et al. 2012 MNRAS 419, 2338; [7] Prieto et al. 2002 Science 298; [8] Tavecchio, F. et al. 2000 ApJ, 544, 23.