

Identificazione sorgenti celesti ignote

Andru Budacu Ferrari¹, Matia Legnani²

¹Liceo Scientifico IISS “Caduti della Direttissima”

²Liceo Ginnasio “Luigi Galvani”

1. Abstract

Ogni anno l’Area di Ricerca CNR-INAf di Bologna organizza stage di alternanza scuola-lavoro per gli studenti del quarto anno delle scuole superiori nell’ambito del progetto estivo SperimEstate. Abbiamo avuto la fortuna di partecipare a uno di questi, fra il 10 e il 21 giugno 2019, presso l’istituto INAF-OAS di Bologna. Il tema e lo scopo sono stati l’identificazione di alcune sorgenti celesti ignote tramite l’analisi dei loro spettri ottici. In questo articolo descriveremo l’iter che abbiamo seguito per raggiungere questo obiettivo avendo preso in esame quattro oggetti e riserveremo particolare attenzione ai risultati ottenuti.

2. Introduzione

Il punto di partenza per la preparazione dei dati utili all’analisi è la rivelazione di una sorgente ad opera di satelliti ad alta energia, quali Integral e Swift. Il satellite individua una direzione ed un raggio di errore in cui è presente l’oggetto. Inseriamo questo error box (tipicamente 5 arcsec x 5 arcsec) all’interno di una porzione (tipicamente 10 arcmin x 10 arcmin) della volta celeste, la cui immagine viene scaricata dai cataloghi online. Un telescopio ottico, nel nostro caso il Cassini-152cm di Loiano (Bo) [Fig. 1], viene puntato verso la sorgente, la luce passa attraverso una fenditura e ne viene estratto uno spettro grezzo. La preparazione dell’immagine, o riduzione dei dati, viene fatta utilizzando il pacchetto software IRAF. Questa procedura passa attraverso la pulizia dei raggi cosmici e del rumore di fondo. Lo spettro ottenuto non è calibrato ed è misurato in conteggi verso pixel. Tramite la calibrazione, prima in lunghezza d’onda e poi in flusso, il conteggio per ogni pixel viene associato alla rispettiva lunghezza d’onda e grandezza fisica corrispondente. Il risultato è uno spettro calibrato idoneo al confronto con parametri standard di sorgenti già identificate. Abbiamo infine calcolato il redshift, grazie a cui è possibile conoscere la distanza della sorgente dall’osservatore e, nel caso di un particolare tipo di galassie, calcolare la massa del buco nero al centro delle stesse.



Fig. 1 Vista della cupola del telescopio Cassini di Loiano

3. Tabella Sorgenti ignote

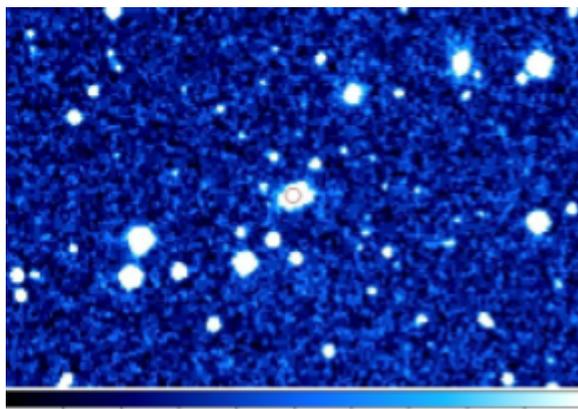


Fig. 2 Immagine del campo relativo alla sorgente IGR1711+39 con error box

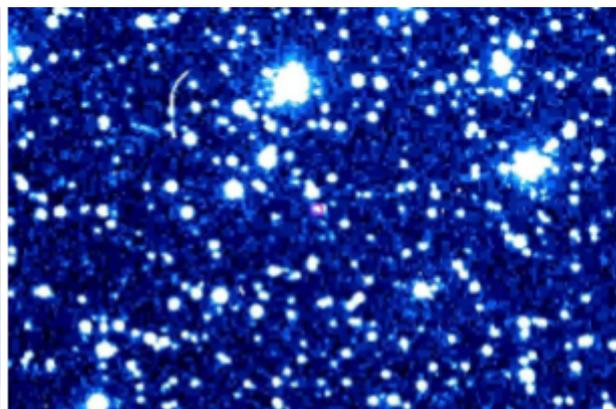


Fig. 3 Immagine del campo relativo alla sorgente PBC0706 con error box

Sigla Sorgente	Ascensione retta [h min s]	Declinazione [° ‘ ‘‘]	Error Box [arcsec]	Tempo di esposizione [s]
IGR1711+39 [Fig. 2]	17 11 05.31	+39 08 48.5	5	1800
IGR17325+25	17 25 47.96	+25 55 31.8	5	1800
NGC4051	12 03 09.686	+44 31 52.54	5	180
PBC0706 [Fig. 3]	07 06 48.93	+03 24 47.3	5	1800

4. Riduzione Dati

4.1 Sottrazione dei raggi cosmici

Lo spettro grezzo è cosparso di quelli che sembrano puntini luminosi estranei a qualsiasi sorgente: eventi spurii, ossia raggi cosmici che colpiscono il detector del telescopio e “sporcano” l’immagine [Fig. 4]. Per questo motivo è necessario applicare una maschera per rimuoverli, questo viene fatto utilizzando la procedura CRMEDIAN del *software* IRAF. Otteniamo così una immagine pulita [Fig. 5].

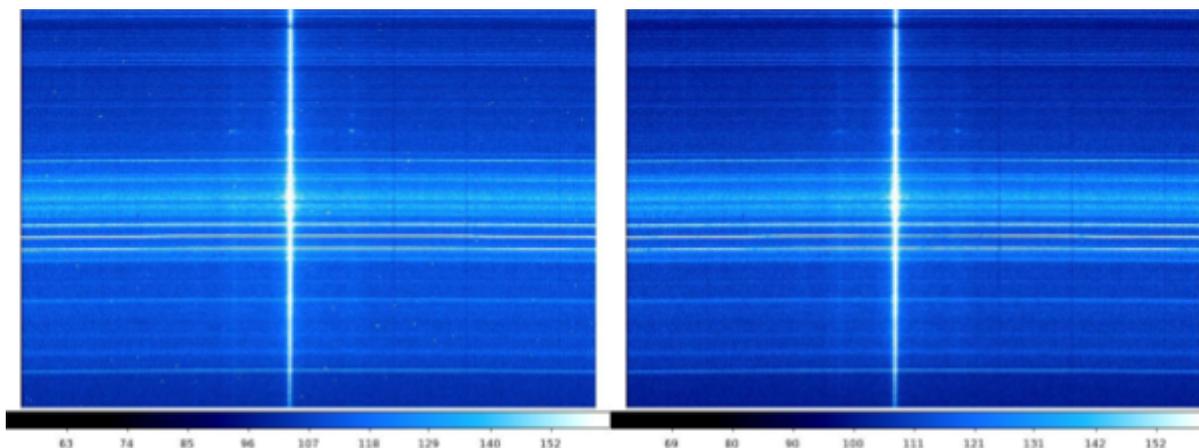


Fig. 4-5 L’immagine contenente lo spettro della sorgente NGC4051(riga bianca verticale) con e senza raggi cosmici, puntini bianchi nell’immagine di sinistra.

4.2 Estrazione dello spettro non calibrato

Tramite la procedura APALL estraiamo lo spettro monodimensionale [Fig. 6] dell'immagine pulita dove compaiono i picchi di tutti gli oggetti inquadrati nella fenditura del telescopio. Individuato il picco dell'oggetto in analisi, lo marchiamo per estrarlo e campioniamo il fondo, scegliendo le zone più uniformi attorno alla sorgente [Fig. 7] e ne facciamo il fit [Fig. 8]. Sottraiamo il fondo ed estraiamo lo spettro monodimensionale della sorgente pronto per la calibrazione [Fig. 9].

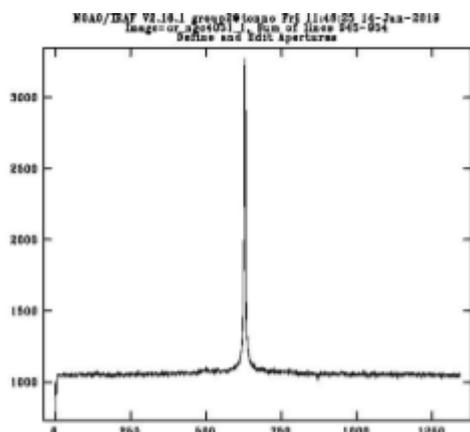


Fig. 6 Traccia dello spettro di NGC4051

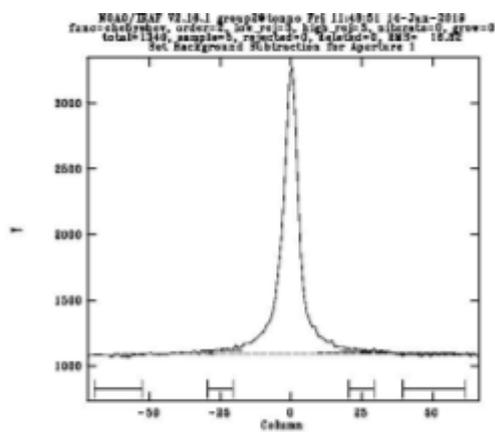


Fig. 7 Selezione del fondo

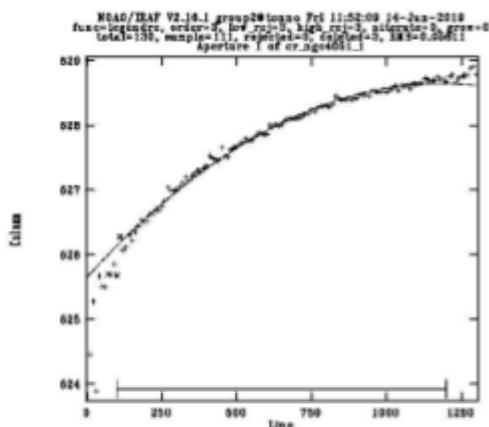


Fig. 8 Funzione di fit che descrive i dati del fondo grazie a un modello fisico

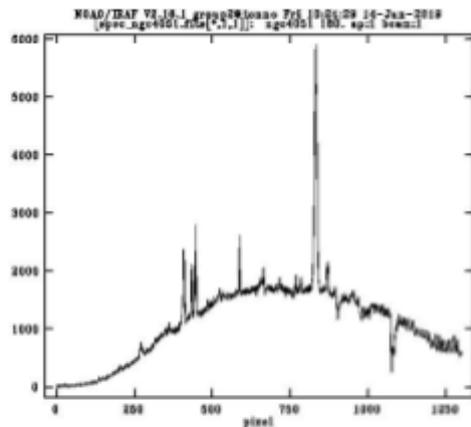


Fig. 9 Spettro monodimensionale estratto, non calibrato, di NGC4051 dopo la sottrazione del fondo

4.3 Estrazione dello spettro della lampada e funzione di dispersione

Utilizziamo di nuovo la procedura APALL per estrarre lo spettro della lampada di calibrazione sulla stessa colonna dello spettro della sorgente. In seguito determiniamo la funzione di dispersione a partire dallo spettro della lampada di calibrazione tramite la procedura IDENTIFY. Sul grafico interattivo [Fig. 10] che ci appare associamo ai picchi rilevanti le lunghezze d'onda corrispondenti ricavate dai dati forniti nel file HeAr4_Loiano.pdf che contiene le lunghezze d'onda di laboratorio di tali picchi.

NOAO/IRAF V2.16.1 group2@tonno Fri 13:54:43 14-Jun-2019
identify lamp4051_1D - Ap 1
ngc4051_lamp

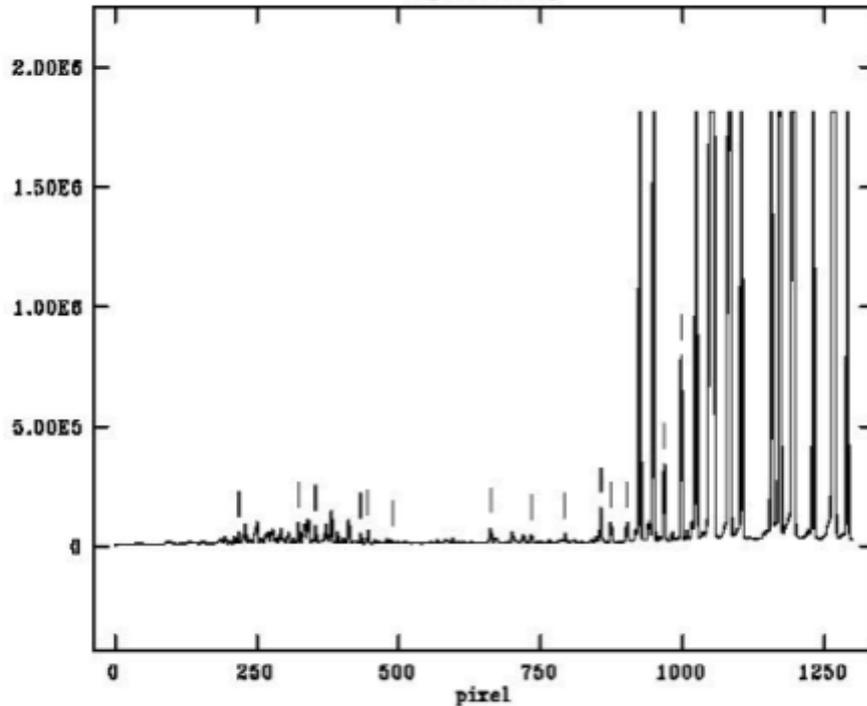


Fig. 10 Spettro della lampada con picchi identificati

4.4 Calibrazione

Con la procedura REFSPECTRA applichiamo allo spettro non calibrato della sorgente la funzione di dispersione determinata con la lampada di calibrazione. Trasformiamo quindi i pixel in lunghezze d'onda con la procedura DISPCOR [Fig. 11] e i conteggi in flusso con la procedura CALIBRATE [Fig. 12].

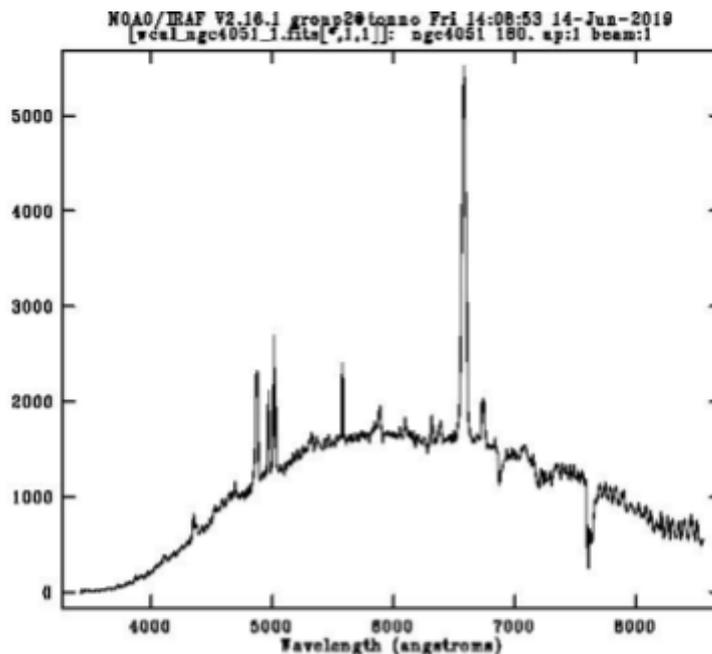


Fig. 11 Spettro della sorgente NGC4051 calibrato in lunghezza d'onda

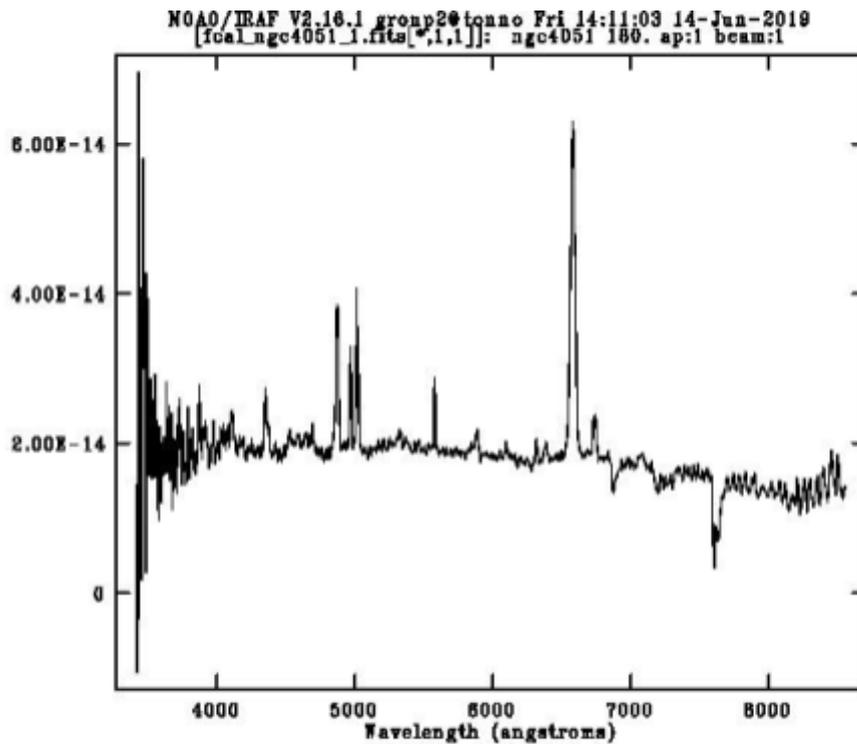


Fig. 12 Spettro della sorgente NGC4051 calibrato in lunghezza d'onda e flusso

5. Risultati: identificazione delle sorgenti

Il risultato del passaggio precedente è uno spettro calibrato che va confrontato con una serie di spettri di oggetti già identificati per comprendere la natura della nostra sorgente. Da questi confronti e dall'analisi delle righe presenti nei nostri spettri è possibile riconoscere se il nostro oggetto è una stella, una galassia o un altro corpo celeste. Le sorgenti presentano picchi ben individuabili caratteristici (righe di emissione). Compatibilmente con la distanza dall'osservatore, la lunghezza d'onda osservata di una certa riga di emissione (per esempio H_{α}) è maggiore della lunghezza d'onda della stessa riga misurata in laboratorio (spostamento verso il rosso o redshift). Possiamo calcolare i redshift delle sorgenti prese in esame con la formula $z + 1 = \lambda_o / \lambda_e$, dove λ_o è la lunghezza d'onda della riga osservata e λ_e è la lunghezza d'onda di laboratorio dell'elemento a cui è associata la riga. Di seguito vengono mostrati in tabella i redshift calcolati, le righe caratteristiche osservate (H_{α} , MgII) e l'identificazione proposta per ogni sorgente.

Sorgenti	Emissione	Lunghezza d'onda a riposo [Å]	Lunghezza d'onda osservata [Å]	z	Tipo di oggetto
IGR1711+39	H_{α}	6564	7023	0.070	Seyfert 1
IGR17325+25	Mg II	2800	4469	0.596	Quasar
NGC4051	H_{α}	6564	6580	0.0023	Seyfert 1
PBC0706	H_{α}	6564	6564	0	Stella variabile cataclismica

La sorgente **NGC4051** [Fig. 12-15] è una galassia di tipo Seyfert I relativamente vicina a noi, estremamente brillante. Data la luminosità di questa sorgente il tempo di esposizione è 10 volte minore che per le altre sorgenti.

La sorgente **IGR17325+25**, un quasar, ha un redshift piuttosto elevato rispetto agli altri oggetti, ciò significa che essa è molto più lontana da noi rispetto a questi ultimi. Per la grande distanza, è debole e nel suo error box è presente anche un'altra sorgente. Dato ciò, l'emissione di H_α ha una lunghezza d'onda che esce dal range spettroscopico coperto dalla nostra osservazione, cadendo nell'infrarosso; abbiamo quindi utilizzato per calcolare il redshift la riga di emissione osservata di Mg II.

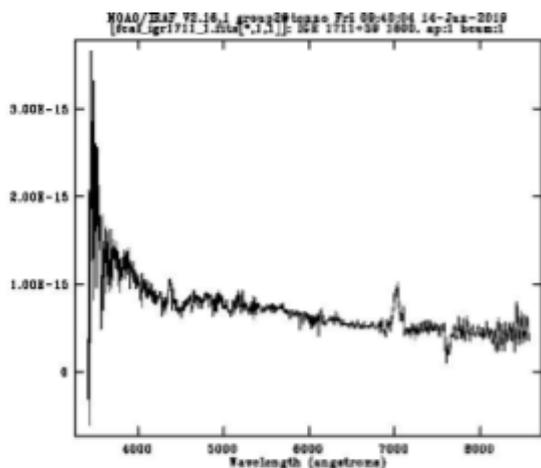


Fig. 13 Spettro della sorgente IGR1711+39 calibrato in lunghezza d'onda e flusso

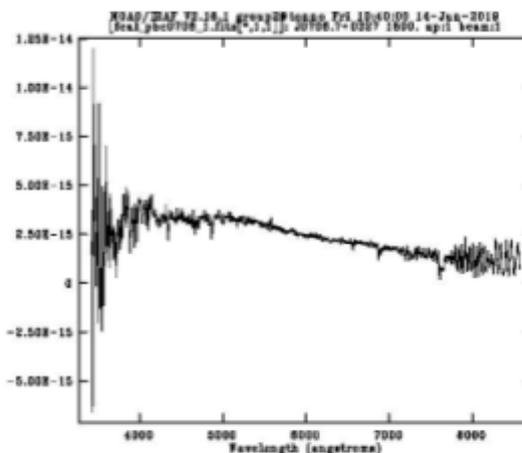


Fig. 14 Spettro della sorgente PBC0706 calibrato in lunghezza d'onda e flusso

Anche **IGR1711+39** [Fig. 2-13] è una galassia di tipo Seyfert 1; **PBC0706** [Fig. 3-14] è una stella variabile cataclismica.

Abbiamo quindi raggiunto lo scopo di identificare la natura delle nostre sorgenti.

5.1 Calcolo della massa del buco nero al centro di NGC4051

Per le galassie di tipo Seyfert 1, dato il redshift, è possibile calcolare la massa del buco nero (in masse solari) che vi è al centro, tramite la formula*:

$$M_{BH}^{H_\alpha} = f \times 10^{6.58} \left(\frac{FWHM_{H_\alpha}}{1000} \right)^{2.12} \times \left(\frac{L_{H_\alpha}}{10^{42}} \right)^{0.51} M_\odot$$

Il calcolo viene fatto riferendoci alla riga di emissione H_α .

$FWHM$ è la full width at half maximum - calcolata tramite la formula $c\Delta\lambda/\lambda$ - ossia la larghezza della gaussiana dell'emissione a metà della sua altezza.

L_{H_α} è la luminosità data da $L = 4\pi F d_L^2$ dove F è il flusso ricavato dallo spettro e d_L è la distanza di luminosità calcolata grazie all'inserimento del redshift nel *NED Cosmological Calculator* assumendo una cosmologia standard.

Dalla formula complessiva calcoliamo la massa del buco nero al centro della galassia NGC4051. Il risultato è 1.7×10^6 masse solari, in accordo con le misure riportate in letteratura.

*"Estimating Black Hole Masses in Active Galaxies using the H α Emission Line", J. E. Greene, L. C. Ho, 2005, ApJ, 630, 122

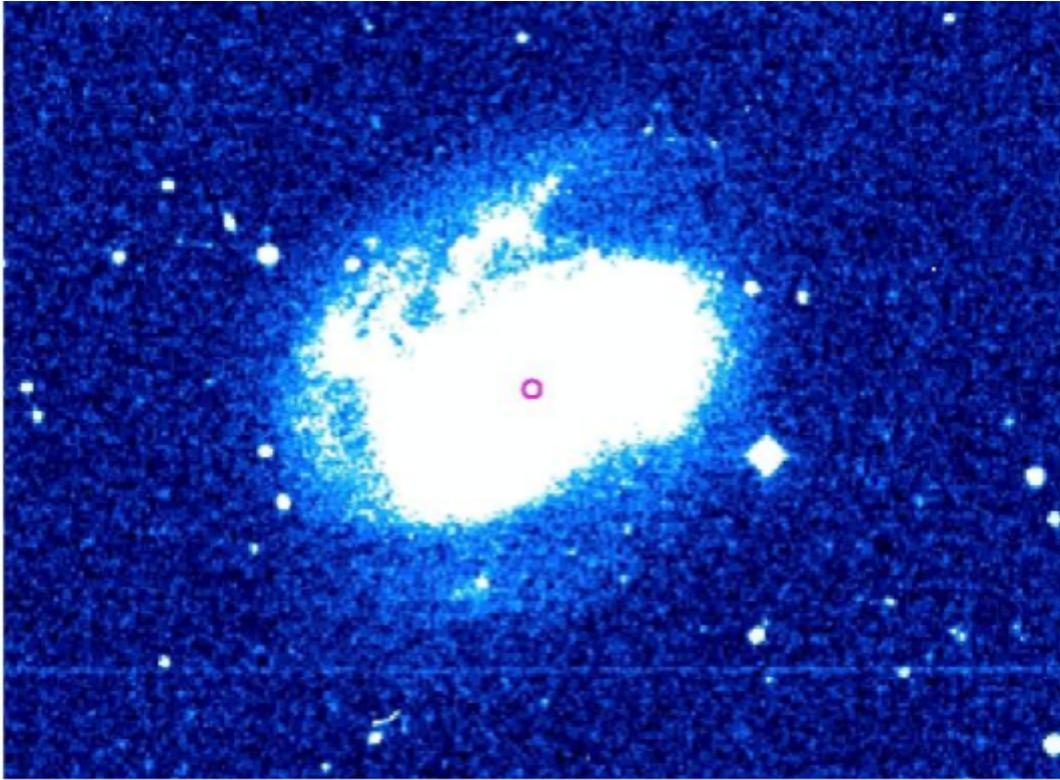


Fig. 15 Immagine di campo relativo alla sorgente NGC4051 con error box