

# Identificazione di sorgenti celesti ignote

Matteo Bergonzoni e Andrea Zerbini

## Abstract

In questo laboratorio abbiamo identificato la natura di quattro sorgenti celesti ignote (pbc0706, igr1711+39, igr17325+25, ngc4051) utilizzando immagini ottiche acquisite al telescopio di Loiano. Queste sorgenti erano state precedentemente rilevate da telescopi ad alte energia quali Integral e Swift. Utilizzando un pacchetto software dedicato (*IRAF*) abbiamo ridotto le immagini, estratto e poi calibrato gli spettri delle quattro sorgenti in modo da ricavarne le informazioni di nostro interesse. Ad esempio analizzando le righe presenti negli spettri abbiamo potuto stabilire il redshift (dunque anche la distanza) e la tipologia degli oggetti. Abbiamo inoltre stimato la massa del un buco nero centrale ad una delle sorgenti prese in esame.

## 1. Introduzione

L'astronomia moderna utilizza le radiazioni elettromagnetiche a tutte le lunghezze d'onda, dai raggi  $\gamma$ -X al radio, per investigare i fenomeni celesti. I telescopi a raggi X o  $\gamma$ , in particolare, hanno un potere risolutivo molto limitato e spesso nel cerchio di errore associato alla posizione di una sorgente rivelata da questi telescopi cadono molteplici sorgenti ottiche o radio; per poterle quindi studiare al meglio, per comprendere la loro natura intrinseca e capire quindi quale di esse è la più probabile sorgente della radiazione ad alta energia rivelata, si rende necessario l'utilizzo dei loro spettri ottici.

Lo scopo del nostro lavoro è stato quello di studiare le caratteristiche di 4 sorgenti: pbc0706, igr1711+39, igr17325+25, ngc4051. Per farlo abbiamo avuto a nostra disposizione immagini e spettri ottici ottenuti al telescopio di Loiano, presso Bologna.

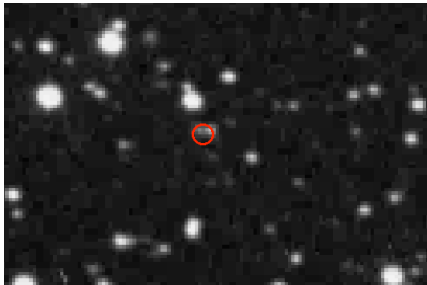
Analizzando queste immagini e spettri abbiamo scoperto la natura di tali oggetti, ovvero ne abbiamo determinato l'appartenenza o meno alla nostra galassia, abbiamo stabilito così se si trattava di stelle, nel primo caso, oppure di oggetti extra-galattici quali i Nuclei Galattici Attivi (AGN) come i quasar (luminosità  $< 10^{44}$  erg/sec) o le galassie di Seyfert di tipo I (con presenza nel loro spettro ottico di righe larghe con  $v > 2000$  km/s e strette  $v < 1000$  km/s) o le Seyfert di tipo II (con solo righe strette) o altro ancora. Negli AGN (Nuclei Galattici Attivi) la presenza di righe di emissione larghe, emesse da materiale in prossimità del buco nero centrale, e la misura dei loro parametri permette di fare anche la stima della massa dello stesso.

## 2. Osservazioni

NAME	Observation Date	Exposure Time (s)	Right Ascension	Declination	Telescope
igr1711+39	17/3/17	1800	17:11:05.31	+39:08:48.5	Loiano
igr17325+25	17/3/17	1800	17:25:47.96	+25:55:31.8	Loiano
pbc0706	17/1/11	1800	7:06:48.93	+03:24:47.3	Loiano
ngc4051	24/6/15	180	12:03:09.686	+44:31:52.54	Loiano

### 3. Riduzione degli spettri e analisi dati

Per poter meglio individuare le sorgenti da analizzare abbiamo realizzato, utilizzando il pacchetto software *DS9*, delle *finding chart* (Figure 1 e 2), immagini che permettono di visualizzare il campo celeste attorno alle coordinate degli oggetti da studiare. Individuata la sorgente abbiamo iniziato l'analisi.

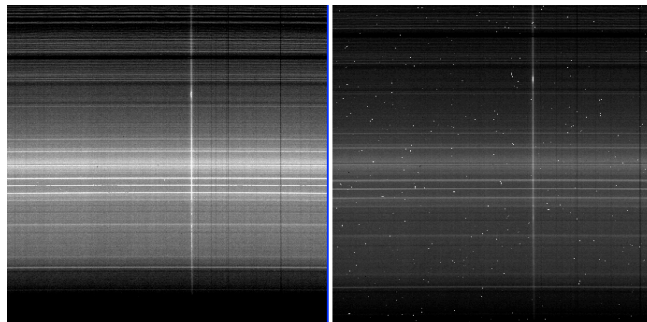


**Fig. 1:** Finding chart di pbc0706 e il relativo error box



**Fig. 2:** Finding chart di ngc4051

Le immagini prodotte dai telescopi ottici possono mostrare alcuni pixel "caldi" perchè colpiti da raggi cosmici, particelle ad alta energia provenienti dallo spazio. Per ripulire gli spettri da questi ultimi abbiamo utilizzato una delle procedure presenti nel pacchetto software *IRAF*, in particolare la procedura *CRMEDIAN*, che ci permette di rilevare i pixel che deviano dal valore mediano dei pixel circostanti di un valore statistico fissato e li sostituisce col valore mediano stesso. Abbiamo ottenuto così l'immagine *cr\_object.fits* (Fig. 3).

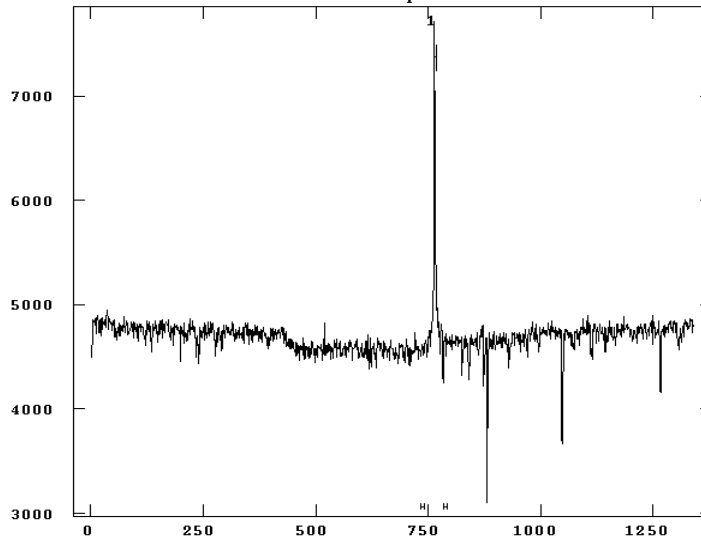


**Fig. 3:** *Cr\_igr1711.fits* ripulita dai raggi cosmici (a sinistra) a confronto con lo spettro grezzo (a destra). La riga bianca lungo l'asse y è lo spettro del nostro oggetto.

Abbiamo poi verificato che l'asse di dispersione degli spettri fosse lungo le colonne (come risulta evidente dalla Fig.3) con la procedura *APEXTRACT*.

Per estrarre lo spettro monodimensionale dell'immagine precedentemente pulita dai raggi cosmici abbiamo utilizzato la procedura *APALL*. Per prima cosa è stato necessario individuare su quali colonne era presente il segnale relativo al nostro oggetto. In particolare, inserendo nel parametro *line* della procedura un valore di riga y dove non fossero presenti linee del cielo (ricavabile visualizzando con *DS9* l'immagine pulita dai cosmici, devi Fig. 3), si è ottenuto un grafico in cui i picchi rappresentano gli spettri dei vari oggetti presenti dentro la fenditura dello spettrometro utilizzato al telescopio. La larghezza di questi picchi, e in particolare di quello relativo al nostro oggetto, ci dice su quante e quali colonne abbiamo il segnale che ci interessa (Fig. 4).

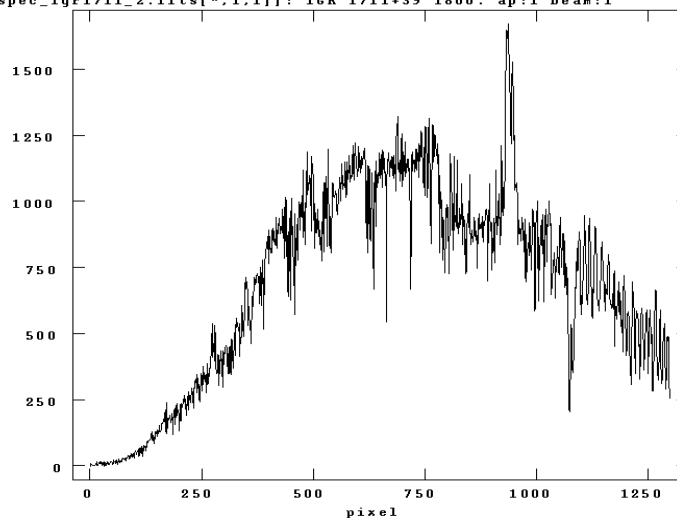
NOAO/IRAF V2.16.1 gruppo048login01 Thu 12:50:42 29-Jun-2017  
Image=cr\_igr1711\_2. Sum of lines 645-654  
Define and Edit Apertures



**Fig. 4:** Il picco centrale (contraddistinto dal numero 1) e' quello relativo alla sorgente che stiamo analizzando, igr1711. La sua larghezza mi dice su quali e quante righe ho il segnale.

Abbiamo quindi selezionato il picco relativo alla sorgente di nostro interesse e il valore del fondo attorno ad essa. Attraverso questi passaggi alla fine della procedura *APALL* abbiamo ottenuto: *spec\_object.fits* (Fig. 5), uno spettro che presenta sull'asse delle ascisse i pixel e sull'asse delle ordinate i conteggi rivelati in ciascun pixel. Questo spettro dovrà essere calibrato in modo da avere sull'asse delle ordinate il flusso e su quello delle ascisse la lunghezza d'onda.

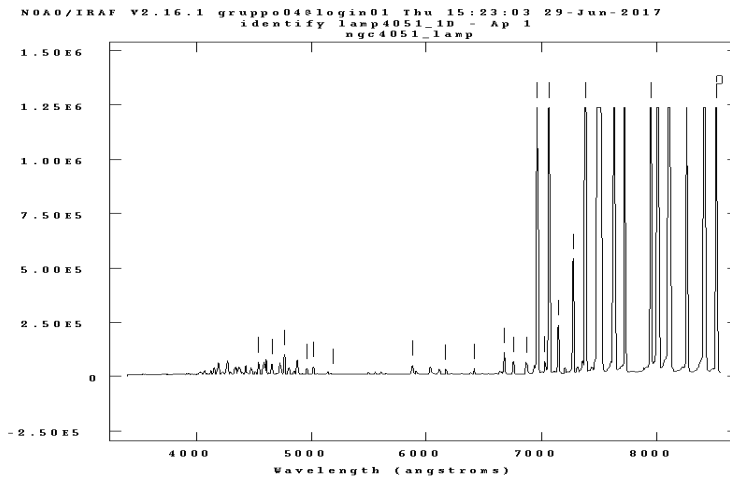
NOAO/IRAF V2.16.1 gruppo048login01 Thu 14:48:04 29-Jun-2017  
[spec\_igr1711\_2.fits[\*],1,1]: IGR 1711+39 1800. ap:1 Beam:1



**Fig. 5:** Spettro monodimensionale di igr1711 in pixels verso conteggi.

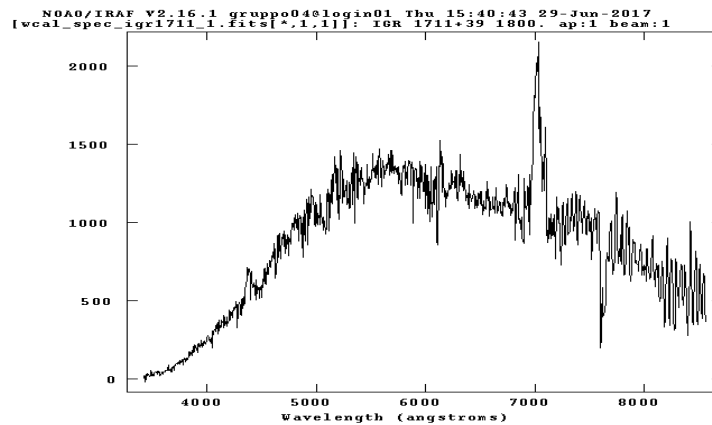
Sempre mediante l'utilizzo di *APALL* abbiamo estratto lo spettro monodimensionale della lampada di calibrazione, utilizzando per l'estrazione le stesse colonne su cui avevamo precedentemente estratto lo spettro del nostro oggetto. Abbiamo così ottenuto *lamp1\_1D.fits*.

Abbiamo poi utilizzato la procedura *IDENTIFY* per determinare la dispersione dello spettro, ovvero la relazione tra pixel e lunghezze d'onda; associando ad ogni riga riconosciuta nello spettro monodimensionale della lampada di calibrazione la sua lunghezza d'onda (Fig. 6).



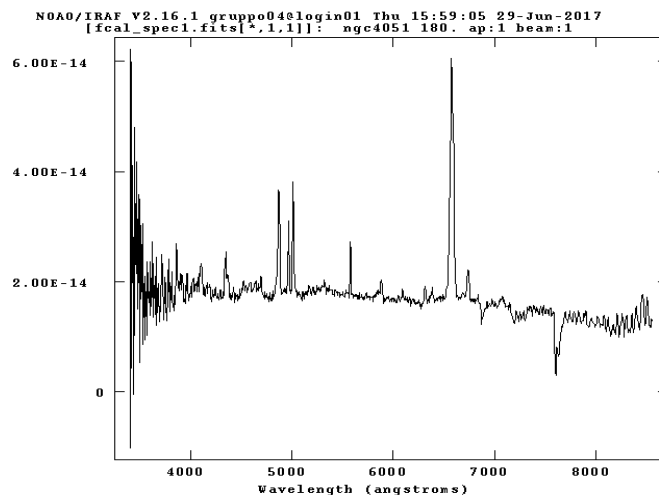
**Fig. 6:** Grafico che mostra alcune delle righe riconosciute della lampada di calibrazione (contraddistinte da un trattino).

Con la procedura *REFSPEC* abbiamo associato a ciascun spettro della nostra sorgente (*spec\_object.fits*) lo spettro della lampada usata per calcolare la funzione di dispersione (*lamp1\_1D.fits*) e grazie alla procedura *DISPCOR* abbiamo trasformato i pixel del nostro oggetto sull'asse delle ascisse in lunghezze d'onda, ottenendo *wcal\_spe1.fits* (Fig. 7).



**Fig. 7:** Spettro di igr1711 calibrato in lunghezza d'onda ma con ancora i conteggi sulle ordinate ancora .

Attraverso la procedura *CALIBRATE* abbiamo completato la calibrazione trasformando i conteggi per pixel in flusso, utilizzando anche i dati di *airmass* e *exptime*, fornitici dal telescopio stesso. Lo spettro finale ottenuto è *fcal\_spe1.fits* (ad esempio Fig. 8)



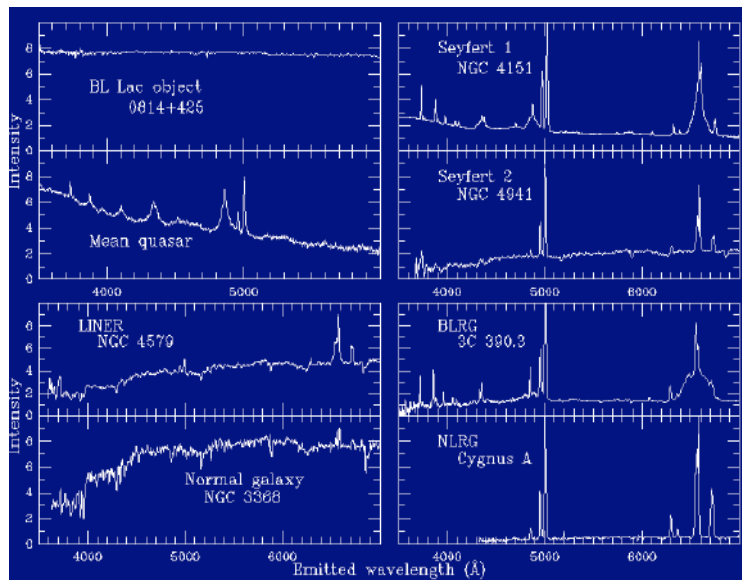
**Fig. 8:** Spettro finale di NGC4051

Abbiamo individuato la linea tellurica (Fig. 10), una riga in assorbimento dovuta all'atmosfera, dunque sempre presente negli spettri ottici presi da terra e mai soggetta a spostamenti in lunghezza d'onda (nè verso il rosso, *redshift*, nè verso il blu, *blueshift*). La sua posizione ad una lunghezza d'onda di 7614 Å nei nostri spettri ha confermato che la calibrazione era stata eseguita correttamente.

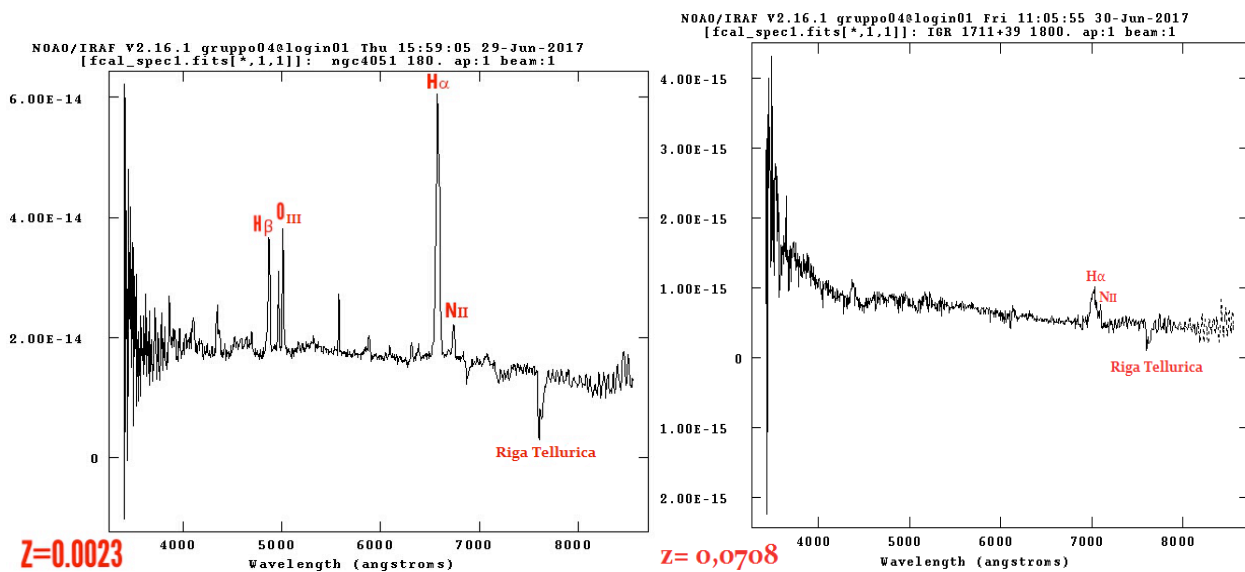
Il *redshift* è un fenomeno fisico per cui fotoni provenienti da una sorgente luminosa in allontanamento subiscono uno spostamento verso lunghezze d'onda più alte, ovvero verso il rosso. Essendo, secondo la legge di Hubble, le galassie in allontanamento tra loro tanto più velocemente quanto più distanti, grazie al *redshift* è possibile stabilire: *i*) se gli oggetti analizzati appartengano o meno alla Via Lattea e *ii*) la loro distanza da noi. Per calcolarne il *redshift* ( $z$ ) abbiamo utilizzato la formula:  $z + 1 = \lambda_{oss} / \lambda_{lab}$

Dove  $\lambda_{lab}$  è la lunghezza d'onda emessa da un particolare elemento emesso (per esempio idrogeno) misurata in laboratorio (quindi la sorgente è immobile rispetto all'osservatore), mentre  $\lambda_{oss}$  è la lunghezza d'onda della stessa riga emessa dall'oggetto che stiamo studiando e osservata nel nostro spettro.

Abbiamo identificato alcune righe (Fig. 10) e poi confrontato il nostro spettro con modelli noti (Fig. 9) per scoprire che tipo di sorgente fosse.



**Fig. 9:** Esempi di spettri di oggetti noti utilizzati come confronto.



**Fig. 10:** Spettri di ngc4051 (a sinistra) e igr1711 (a destra) su cui sono evidenziate alcune righe identificate grazie a cui abbiamo determinato i relativi redshift

Per quanto riguarda la sorgente NGC4051, la misura dei parametri delle righe larghe osservate ci ha permesso di calcolare la massa del buco nero centrale secondo la formula:

$$M_{\text{BH}}^{\text{H}\alpha} = f \times 10^{6.58} \left( \frac{\text{FWHM}_{\text{H}\alpha}}{1000} \right)^{2.12} \left( \frac{L_{\text{H}\alpha}}{10^{42}} \right)^{0.51} M_{\odot} \quad (4)$$

Dove  $f$  é una costante pari circa a 1,  $\text{FWHM}$  (full width half maximum =  $c\Delta\lambda/\lambda$ , con  $c$  che é la velocità della luce nel vuoto) é ricavabile dallo spettro osservato facendo riferimento alla riga dell'idrogeno alfa,  $L$  é la luminosità dell'idrogeno alfa, calcolabile attraverso la formula:  $L = F\pi 4d^2$ , dove  $F$  é il flusso della riga e  $d$  la distanza tra sorgente e osservatore (data dal *redshift*).

#### 4. Risultati

Pbc0706, con  $z=0$  é risultata essere una stella della nostra galassia.

Igr1711+39, con  $z=0.0701$ , é stato identificato come un quasar di primo tipo.

Igr17325+25, con  $z=0.594$ , é stato identificato come un BL Lac object.

NGC4051, con  $z=0.0023$ , é stato identificato come una galassia Seyfert di tipo I. La massa del buco nero al suo interno é stata stimata in  $1.7 \times 10^6$  masse solari.