

Spettroscopia infrarossa ad alta risoluzione: analisi dati e primi risultati di GIANO-TNG

Candidato: **Tommaso Pecchioli** (tpecchioli@hotmail.it)

Relatore: **Dr. Ernesto Oliva** (oliva@arcetri.astro.it)

Correlatore: **Prof. Alessandro Marconi** (alessandro.marconi@unifi.it)

Abstract

Il lavoro svolto in questa Tesi si inserisce nella fase di Commissioning dello spettrografo infrarosso ($0,94 \mu\text{m} \div 2,44 \mu\text{m}$) ad alta risoluzione ($R \sim 50000$) GIANO, sviluppato per il Telescopio Nazionale Galileo situato all'osservatorio Roque de Los Muchachos a La Palma (Spagna).

GIANO è uno spettrografo di tipo echelle in grado di coprire simultaneamente l'intera banda nella quale opera ed è stato realizzato per affrontare varie tematiche di rilevante interesse astrofisico, quali studio di esopianeti, regioni di formazione stellare e stelle giovani. GIANO è disponibile alla comunità scientifica da marzo 2015. In particolare, il presente lavoro è consistito in una prima fase di verifica di alcune parti della procedura sviluppata per la riduzione, estrazione e calibrazione degli spettri e in una seconda fase in cui tale procedura è stata applicata ad osservazioni reali effettuate con GIANO nell'ambito di un caso scientifico ben preciso.

Nei primi due capitoli della tesi, viene descritta la banda infrarossa in astronomia ed gli oggetti astrofisici che questa permette di indagare, le principali caratteristiche dei rivelatori bidimensionali utilizzabili a queste lunghezze d'onda e degli spettrografi, con particolare riferimento a quelli echelle, alla cui classe GIANO appartiene. Vengono quindi descritti in dettaglio lo strumento (capitolo 3), i vari campi di interesse scientifico e la procedura di acquisizione degli spettri. Nel capitolo 4 viene descritta in modo dettagliato la procedura di riduzione delle immagini e di estrazione degli spettri unidimensionali calibrati in lunghezza d'onda, sviluppata appositamente per questi dati. Ho discusso in dettaglio i test che ho effettuato per verificare l'efficienza e l'utilità di alcuni passi della procedura, ad esempio per determinare quale fosse la miglior strategia da adottare per correggere l'effetto prodotto dalla non omogeneità dei pixels del rivelatore (correzione di flat field) e stimare l'accuratezza della calibrazione in lunghezza d'onda degli spettri (risultata migliore di $0,01 \text{ nm}$).

Il caso scientifico analizzato è descritto e discusso nel capitolo 5. Si trattava di determinare i parametri fisici del mezzo circumstellare associato a stelle giovani (denominate stelle Ae/Be di Herbig), caratterizzate da uno spettro di righe di emissione sovrapposto ad un continuo, e il vantaggio rappresentato per questo dal disporre di numerose righe di emissione osservate simultaneamente su un'ampia banda spettrale. A tale scopo ho utilizzato un campione di tre stelle giovani (HD 200775, V1478 Cyg, V1686 Cyg) classificate come stelle Be di Herbig. Dopo aver estratto gli spettri unidimensionali dalle immagini di GIANO ed averli calibrati in lunghezza d'onda, li ho calibrati in flusso e corretti per l'estinzione, cioè per l'assorbimento differenziale della radiazione emessa dalla stella centrale prodotto dalla polvere in cui tali oggetti sono immersi. In particolare, ho analizzato le proprietà delle righe di emissione dell'H I presenti nello spettro acquisito, appartenenti alle serie di Paschen e di Brackett. Dai rapporti di riga ho ottenuto un'indicazione qualitativa dello spessore ottico delle righe, trovando che nella serie di Paschen risultano moderatamente otticamente spesse per tutte le tre le stelle. Nella serie di Brackett, le righe sono essenzialmente sottili nel caso di V1478 Cyg e V1686 Cyg. Dalle righe moderatamente spesse è stato poi possibile ottenere una stima delle dimensioni della regione emittente (con spessore ottico ~ 1) e verificare che questa si trova sempre all'interno della zona in cui la polvere sublima a causa della temperatura ($9 R_{\odot} \div 721 R_{\odot}$).

Il profilo delle varie righe di emissione traccia direttamente i moti del gas. Le larghezze osservate delle righe (FWHM) aumentano avvicinandosi alla stella centrale in modo consistente con una rotazione di tipo kepleriano nel caso di HD 200775 e V1686 Cyg. Questo, insieme alla morfologia dei profili di riga, è consistente con la presenza di un disco di accrescimento attorno alle due stelle. Nell'ipotesi di moto kepleriano, ho stimato dei valori per la massa delle stelle di $M \sin^2 i = 6 M_{\odot}$ e $M \sin^2 i = 3 M_{\odot}$, consistenti con le masse tipiche di questo tipo di oggetti. Nel caso di V1478 Cyg la larghezza delle righe diminuisce all'avvicinarsi alla stella (o comunque non aumenta) e il quadro complessivo è consistente con quello di un vento ionizzato emesso da un disco circumstellare.

I risultati ottenuti in questo lavoro di Tesi sono in accordo con gli studi di questi oggetti già presenti in letteratura.

High resolution infrared spectroscopy: data analysis and first results of GIANO-TNG

Candidate: **Tommaso Pecchioli** (tpecchioli@hotmail.it)

Tutor: **Dr. Ernesto Oliva** (oliva@arcetri.astro.it)

Co-tutor: **Prof. Alessandro Marconi** (alessandro.marconi@unifi.it)

Abstract

This Thesis work has been carried out in the context of the Commissioning phase of the infrared high-resolution spectrograph GIANO, developed for the Galileo National Telescope (TNG) at Roque de Los Muchachos Observatory in La Palma (Spain).

GIANO is an echelle spectrograph capable of simultaneously cover its allowed total band, designed to deal with several topics of astrophysical interest, like exoplanets, star formation regions and young stars. GIANO has been available to the scientific community since March 2015. This work is divided into a first phase of verification of the software pipeline for extraction, reduction and calibration of the spectra, and a second phase where the procedure developed is applied to real GIANO observations to tackle a well defined scientific case.

The first two chapters of the Thesis cover to the basic of infrared astronomy and the main astrophysical targets that one can investigate in this band; the main features of the infrared arrays and the spectrographs used within this spectral range, with a focus on the echelle type. A detailed description of the instrument is given in Chapter 3, along with a description of the spectra acquisition strategy and examples of relevant scientific case. Chapter 4 deals with the software pipeline for image reduction and spectra extraction, developed for GIANO datasets. The tests computed to test the efficiency of some steps in the pipeline are also discussed in detail, for instance the determination of the best strategy in correcting for the non-homogeneity of the pixels in the detector (flat field correction), or the calibration accuracy estimation (resulted better than 0.01 nm).

Finally the science case is presented in Chapter 5: the goal was to determine the physical parameters of the circumstellar medium associated with a sample of young stars (Ae/Be Herbig stars), exhibiting emission lines over a continuum spectrum, taking advantage of the considerable number of lines observed simultaneously in the wide spectral range. To do this, a sample of three young stars (HD 200775, V1478 Cyg, V1686 Cyg), classified as Ae/Be Herbig stars, has been studied.

After extracting one-dimensional wavelength calibrated spectra from the GIANO images, they have been flux-calibrated and then corrected for extinction, i.e. for the differential absorption due to the dust in which these objects are embedded. In particular, the properties of H I emission features in the Paschen and Brackett series have been analyzed. The line ratios have provided information on the line optical thickness, showing that lines in the Paschen series are moderately optically thick in all the three stars. The lines in the Brackett series are optically thin in the case of V1478 Cyg and V1686 Cyg. From the moderately optically thick lines it was possible to estimate the size of the emitting region (with optical depth ~ 1) and found out that it is smaller than the dust sublimation radius ($9 R_{\odot} \div 721 R_{\odot}$).

The the emission line profiles trace the gas motion. Approaching the central star, the observed line width (FWHM) increases significantly suggesting a keplerian rotation in the case of HD 200775 and V1686 Cyg. This evidence, together with the morphology of the line profiles is consistent with the presence of an accretion disk around the two stars. In the hypothesis of a keplerian rotation the masses of the stars have been estimated, obtaining $M \sin^2 i = 6 M_{\odot}$ and $M \sin^2 i = 3 M_{\odot}$, consistent with typical values of Herbig stars. In the case of V1478 Cyg the line width decreases getting closer to the star (or anyway does not increase) consistent with an ionized wind from a circumstellar disk.

The results obtained are in agreement with those of previous studies.