

The Quest for Object X – Un software didattico del Progetto CLEA

IARA, SdR RadioAstronomia UAI, Astronomia Valli del Noce, Società Italiana di Fisica, IMO

Abstract

Project CLEA develops laboratory exercises that illustrate modern astronomical techniques using digital data and color images. The lab software contains a variety of optical telescopes of various apertures, equipped with photometer, spectrometer, and a CCD camera capable of taking images and saving them as FITS files for analysis. It also includes a radio telescope capable of recording incoming signals at three separate frequencies. The dataset for this exercise is a subset a more VIRTUAL EDUCATIONAL OBSERVATORY (VIREO) which includes over 15 million objects covering the entire sky. Like the all-sky dataset, the data supplied with the OBJECT X lab includes stars, galaxies, quasars, asteroids, and pulsars in several areas of the sky.

Introduzione

Quando si parla di radioastronomia si pensa subito all'immensa antenna di Arecibo, pensando, in maniera erranea, che la radioastronomia sia una disciplina solo per professionisti e non per amatori. Questo è quanto ci sia più di sbagliato. Va sottolineato come essa, rispetto ad altre discipline, presenti una interculturalità di conoscenze che spaziano dall'astrofisica all'elettronica. Vi sono molti esempi di persone che affrontano il problema della radioastronomia da un punto di vista amatoriale e molti sono i progetti che si possono trovare sia in Italia che all'estero.

Però cosa è possibile fare senza disporre di una strumentazione o come posso simulare un'attività radioastronomica a livello divulgativo? Per rispondere a queste e altre domande, a livello educativo è nato il progetto CLEA [1].

Tuttavia un buon astronomo dovrebbe conoscere le basi della radioastronomia, così come un radioastronomo dovrebbe conoscere i fenomeni del cielo ottico. Il software che in questo articolo viene presentato vuole rappresentare un punto d'incontro tra due mondi che molto spesso tendono a comunicare poco tra di loro, quello degli astronomi e dei radioastronomi.

In questa esperienza sarà possibile immedesimarsi in un vero scopritore del cosmo avendo a disposizione tutti gli strumenti e le tecniche proprie di molte branche delle diverse discipline astronomiche stando seduti comodamente davanti al monitor del computer di casa o di scuola.

Il Progetto CLEA

Il Progetto CLEA (Project CLEA) [2], acronimo di Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy, sviluppa esercizi di laboratorio che illustra le moderne tecniche astronomiche utilizzando dati digitali e immagini. Esso è concepito come strumento didattico sia per la scuola secondaria superiore sia per l'università ed in generale per ogni attività didattica [3].

Questo lavoro racchiude in se vari moduli distinti e liberamente scaricabili:

- Radio astronomy of pulsars [4] [5]
- Astrometry of asteroids
- The revolution of the moons of Jupiter
- The rotation of Mercury by Doppler effect [4] [5]
- Photoelectric photometry of the Pleiades
- Spectral classification of stars [6]
- The Hubble redshift-distance relation
- The large scale structure of the Universe
- The flow of energy out of the Sun
- The period of rotation of the Sun using images of sunspots from the GONG project
- The quest for object X
- Transits of Venus and Mercury using images from the GONG project
- Dying stars and the birth of the elements
- The height of lunar mountains
- The virtual educational Observatory

Ogni esercizio include un programma informatico, un manuale per gli studenti e una guida per il docente e/o educatore, dove vengono descritti i formati dei file, le opzioni dei programmi e gli algoritmi usati.

The Quest for Object X

Che cosa significa dire che un astronomo "ha scoperto" qualcosa? In molti campi della scienza, la scoperta implica l'individuazione di qualcosa che è nascosta alla vista, come il ritrovamento di un fossile nascosto sotto strati di argilla, la scoperta della struttura chimica di un enzima, o viaggiare nel cuore della foresta pluviale e fotografare una specie, fino ad allora sconosciuta, di uccello [7].

Ma come si può applicare questo concetto all'astronomia? Il cielo è sempre visibile, con l'eccezione degli oggetti che si trovano sotto l'orizzonte. Se siete disposti ad aspettare che la Terra giri e se potete viaggiare in un emisfero differente, potete vedere l'intero cielo. Se catturate un'esposizione

più lunga o utilizzate un telescopio più grande, potete vedere gli oggetti più deboli. Niente può realmente essere nascosto.

Vi sono tanti oggetti nel cielo, tuttavia, ci sono oggetti in vista che non sono facili da distinguere. L'operazione principale della scoperta astronomica, in breve, è di riconoscere alcuni oggetti di interesse fra i miliardi ed i miliardi di puntini di luce che rileviamo. Si può puntare l'oggetto che state cercando, tuttavia senza comprendere la reale natura di ciò che sta davanti ai vostri occhi.

Per apprezzare la difficoltà di scoprire qualcosa di interesse fra il gran numero di luci nel cielo, considerate quanto segue: in una notte scura senza luna, un buon osservatore può vedere circa 3000 stelle. I telescopi e le macchine fotografiche elettroniche usati dagli astronomi oggi aumentano in modo immenso questo numero. Se contate le stelle inferiori di luminosità a un centesimo di quelle appena visibili a occhio nudo, il numero è circa 20 milioni ed il numero aumenta rapidamente in miliardi quando si va a contare oggetti ancora più deboli. Le lunghe esposizioni con i telescopi migliori possono vedere gli oggetti più deboli di un milione di volte e nessuno ha tentato di fare un conteggio completo dei miliardi e dei miliardi degli oggetti visibili a quel livello.

La maggior parte degli oggetti assomigliano in cielo a puntini o a macchie di luce. Anche tramite i telescopi più grandi soltanto alcuni oggetti, come i grandi pianeti, alcune galassie e le nebulose, mostrano dei particolari distinguibili. È necessaria un'osservazione attenta - con gli spettrometri, fotometri, macchine fotografiche di diverso campo ad una vasta gamma di lunghezze d'onda per distinguere una macchia da un'altra. Come un chimico lavora con polveri bianche, cercando di capire come sono fatte, così i dati riguardanti quelle piccole macchie di luce permettono agli astronomi di capire la loro natura.

Questa è un'esercitazione sulla scoperta astronomica. È semplice nel concetto: saranno date le coordinate celesti (ascensione retta e declinazione) di un oggetto misterioso, "lo sconosciuto", l'oggetto X. Usando le tecniche dell'astronomia osservativa, si identificherà l'oggetto e si scoprirà tutto circa le sue caratteristiche fisiche (per esempio la distanza, la temperatura e luminosità di una stella della Via Lattea, o la velocità e la distanza di una galassia distante).

Gli obiettivi del programma sono:

- ottenere una migliore consapevolezza della distinzione fra le osservazioni - che producono dati - e le interpretazioni, che sono conclusioni circa le caratteristiche di un oggetto ottenuto dai dati;
- far funzionare i telescopi ottici e i radiotelescopi simulati con CLEA;
- individuare gli oggetti usando le coordinate celesti;
- acquisire gli spettri, le immagini e le misure fotometriche;

- riconoscere le caratteristiche proprie delle stelle, delle galassie, degli asteroidi, delle pulsar e di altri oggetti nel cielo;
- capire quali tipi di misure rendono le informazioni sugli oggetti celesti utili;
- calcolare le proprietà degli oggetti celesti dai vari tipi di misure;
- identificare il tipo di oggetto che state analizzando;
- effettuare le misure supplementari che vi permettono di identificare almeno alcune di queste proprietà: forma, temperatura, distanza, velocità, periodo di rotazione, età, composizione;
- sviluppare la comprensione delle procedure che gli astronomi eseguono quando conducono una ricerca;
- apprezzare alcune delle difficoltà e delle limitazioni nel "fare" le scoperte astronomiche.

Procedure per identificare gli oggetti astronomici

Come un astronomo si deve analizzare un oggetto sconosciuto. Tutto ciò che si conosce sono le coordinate celesti, ascensione retta e declinazione, che indicano dove puntare lo strumento in cielo. Come si valuta la natura dell'oggetto?

Gli astronomi analizzano la luce proveniente da un oggetto sconosciuto conducendo una serie di test. La prima cosa che può fare l'astronomo è quella di puntare l'oggetto e di prenderne l'immagine. Ciò potrebbe indicare immediatamente la tipologia dell'oggetto - se l'oggetto assomiglia ad una grande spirale estesa di luce, allora esso è una galassia a spirale relativamente vicina. Ma supponiamo che assomigli ad una sorgente puntiforme - un piccolo puntino di luce - allora la soluzione non è immediata. Potrebbe essere un asteroide nel nostro Sistema Solare; potrebbe essere una stella lontana pochi anni luce; potrebbe essere una galassia distante centinaia di milioni di anni luce (che è troppo lontana affinché la sua forma sia visibile); potrebbe persino essere un quasar (una piccola fonte di radiazione intensa, alimentata da un buco nero super massivo) a miliardi di anni luce.

Per trovare una risposta, bisogna effettuare una prova supplementare. Si può utilizzare uno spettroscopio e acquisire uno spettro della luce proveniente dall'oggetto sconosciuto. Supponendo che lo spettro assomigli a questo (figura 1), con soltanto alcune linee spettrali visibili e due linee vicine (dagli atomi ionizzati del calcio) alle brevi lunghezze d'onda questo è uno spettro tipico della galassia.

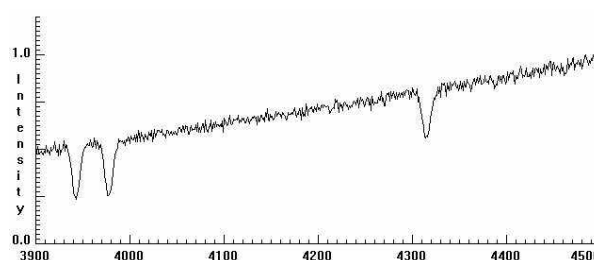


Figura 1. Spettro di una galassia

Questo si differenzia dallo spettro di una stella, per esempio, che potrebbe assomigliare allo spettro qui sotto riportato (figura 2), che ha un modello differente e distintivo delle linee spettrali.

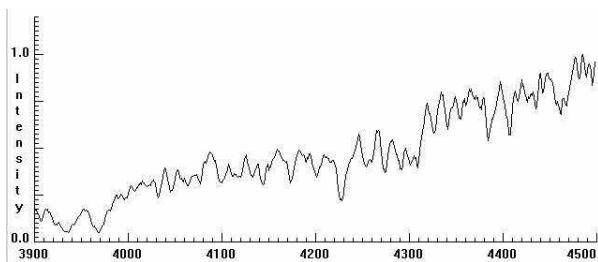


Figura 2. Spettro di una stella

Mentre gli spettri delle galassie sembrano più o meno gli stessi (perché sono la media di milioni di stelle di differenti generi), le tipologie di stelle differiscono da un tipo spettrale all'altro. Sotto vi è un altro spettro di una stella (figura 3) di un tipo spettrale differente.

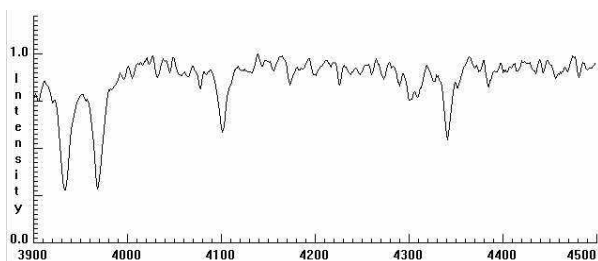


Figura 3. Spettro di una stella

Se l'oggetto sconosciuto avesse lo spettro di una galassia, si possono determinare alcune proprietà dallo spettro: il redshift e la distanza.

Se lo spettro dell'oggetto fosse stato quello di una stella, si potrebbe determinare il tipo spettrale e la dimensione assoluta, mentre la dimensione apparente della stella per mezzo di un fotometro. A partire dalle grandezze assolute ed apparenti si può determinare la distanza della stella.

A volte le osservazioni supplementari sono necessarie per raggiungere un'identificazione certa. Si supponga che lo spettro sconosciuto sia quello di una stella di sequenza principale G2, che è simile al tipo spettrale del nostro Sole. Benché ci sia abbondanza di stelle G2 nel cielo, è inoltre possibile che l'oggetto non sia una stella ma un asteroide nel Sistema Solare, riflettente la luce del nostro Sole.

Come è possibile discriminare se sia un asteroide vicino o una stella lontana? Il modo più semplice è quello di osservare che un asteroide è in orbita intorno al Sole e si muove notevolmente, rispetto alle stelle molto più distanti, nel tempo di alcuni minuti. Così se prendiamo due immagini dell'oggetto a parecchi minuti e notiamo che l'oggetto si è mosso da un'immagine all'altra, allora è un asteroide, non una stella. Di conseguenza, prima di poter concludere che l'oggetto puntiforme con lo spettro G2 è una stella, si devono prendere due immagini ad un intervallo di parecchi

minuti e confrontarle per assicurarsi che non si è mossa.

Non vi è una "ricetta" rapida per identificare gli oggetti ed uno degli obiettivi di questa esercitazione è quello sviluppare una personale strategia nella fase di scoperta astronomica.

Tabella 1. Nella tabella sono elencate alcune delle caratteristiche che distinguono un certo numero di tipi di oggetti astronomici, con alcune delle proprietà che si possono misurare.

Tipo di oggetto	Caratteristiche osservative	Quantità fisiche derivabili dall'osservazione
Stella	<u>Ottico:</u> Sorgente puntiforme Spettro di assorbimento Tipo spettrale confrontabile da atlante <u>Radio:</u> Non rilevabile	Tipo spettrale Temperatura Luminosità Distanza Coordinate Galattiche Età (se in un ammasso)
Asteroide	<u>Ottico:</u> Sorgente puntiforme Movimenti rispetto alle stelle del fondo cielo Spettro di assorbimento di tipo G2V <u>Radio:</u> Non rilevabile	Posizione Componente trasversale della velocità Distanza (se sono possibili misure di parallasse) Colore e tipo
Galassia Normale	<u>Ottico:</u> Sorgente estesa; ma può comparire come sorgente puntiforme se sufficiente distante Spettro di assorbimento; le linee di K, di H ed il G legano in maniera importante. Red-shift notevole <u>Radio:</u> Debole o non scopribile	Velocità radiale Distanze (assumendo H_0) o usando una Candela standard Indipendente quali Cefeidi o supernove di tipo Ia.
Quasar	<u>Ottico:</u> Sorgente puntiforme Spettro di emissione Spostamento verso il rosso <u>Radio:</u> Può essere forte o debole	Velocità radiale Distanza (assumendo H_0) Luminosità
Pulsar	<u>Ottico:</u> Non rilevabile tranne per alcune giovani (esempio Granchio, Vela) <u>Radio:</u> Periodo corto, burst periodici Periodo da $\sim 10^{-3}$ a 10 s	Periodo di rotazione Distanza (assumendo la densità elettronica del mezzo interstellare) Età
Nebulosa Planetaria	<u>Ottico</u> Sorgente estesa; quelle piccole e distanti possono apparire come sorgenti puntiformi Spettro di emissione <u>Radio</u> Non rilevabile	Temperatura Densità del gas Distanza

L'osservatorio educativo virtuale (VIREO)

Una volta annotate le coordinate dell'oggetto sconosciuto, lo si punterà utilizzando l'osservatorio educativo virtuale (VIRtual Educational Observatory VIREO). Questo software dà l'accesso ad una varietà di telescopi e di strumenti di misura che possono essere utilizzati per esaminare ed analizzare la radiazione dell'oggetto [8].

Di seguito vi è un sommario degli strumenti e programmi che si hanno a disposizione con VIREO:

- **Telescopi ottici.** Ci sono tre telescopi ottici disponibili, uno con un piccolo specchio (0.4 metri di diametro), uno con uno specchio di taglia media (1.0 metri di diametro) ed uno con un grande specchio (4.0 metri di diametro). È possibile scegliere il telescopio che si desidera dalla finestra principale del programma dell'osservatorio. La scelta del telescopio, naturalmente, influenzerà la quantità di luce raccolta e il tempo necessario per raccogliere i dati. Per gli oggetti molto deboli, quindi, il telescopio più grande è la soluzione migliore. Per gli oggetti più luminosi, un telescopio più piccolo può essere sufficiente.
- **Camera CCD.** La camera CCD cattura un'immagine digitale della parte del cielo che il telescopio sta osservando. Un'esposizione tipica è intorno ad un minuto o due, oppure si possono fare esposizioni più lunghe per catturare gli oggetti più deboli. Ci sono due filtri, quello V (giallo-verde) e B (blu), che si possono utilizzare. Si possono conservare le immagini digitali per osservarle ed analizzarle successivamente.
- **Il fotometro.** Il fotometro misura l'intensità della luce che entra attraverso un piccolo foro circolare posizionato nel piano dell'immagine del telescopio. I filtri possono essere disposti fra il foro ed il tubo del fotomoltiplicatore che conta i fotoni di luce che entrano. Il telescopio può essere puntato verso una stella e tutta la luce dalla stella, che passa attraverso il foro del fotometro, sarà contata – quanto migliori sono le condizioni luminose del fondo del cielo (causato dalle luci riflesse della città illuminata, causato dall'emissione delle molecole nell'atmosfera, ecc.). Il fotometro dovrebbe, in primo luogo, essere puntato verso un cielo bianco per misurare il livello di fondo - non calcolerà la magnitudine stellare se non viene fatta questa operazione. Una volta che ha registrato il fondo del cielo, si può posizionarlo sulla stella che si vuole misurare. Per avere abbastanza dati per una buona valutazione statistica della luminosità della stella bisogna raccogliere circa 10000 fotoni. Si può aumentare il tempo di esposizione ("integrazione"), o il numero di prove, per raggiungere questo numero. Per le stelle molto deboli, non si può ottenere 10000 fotoni in un tempo ragionevole, dunque i risultati non saranno del tutto affidabili.
- **Lo spettrometro.** Lo spettrometro cattura la luce che cade su una piccola fessura nel piano dell'immagine del telescopio ed usa un reticolo per scomporre la luce nel suo spettro, rappresentando ciò con un grafico intensità in funzione della lunghezza d'onda. Più lunga è l'esposizione più il grafico diverrà più chiaro e dettagliato. Lo spettro può anche essere conservato per una successiva analisi e misura. Vi è uno strumento di classificazione che può essere utilizzato per confrontare uno spettro sconosciuto con una serie di spettri conosciuti.
- **Il radiotelescopio.** Molti oggetti nel cielo emettono maggiormente alle lunghezze d'onda radio che nella luce visibile e possono essere rilevati più facilmente con un radiotelescopio. Il radiotelescopio non è altro che una grande antenna che può raccogliere le onde radio e trasmetterle ad un apparecchio radoricevente. Come il telescopio ottico, l'antenna può rintracciare gli oggetti mentre si muovono attraverso il cielo. Può anche essere lasciata stazionaria, osservando gli oggetti che transitano a causa della rotazione della Terra (gli astronomi chiamano questo modo di funzionamento "di transito").
- **I ricevitori sintonizzabili.** La radiazione radio raccolta dall'antenna è mandata ad un ricevitore che può essere attivato con un tasto sul pannello del radiotelescopio. Il ricevitore prende un segnale e lo grafica in funzione del tempo. I comandi sull'apparecchio radoricevente sono come quelli su una comune radio. Potete sintonizzare il ricevitore fra 400 e 1400 megahertz per mezzo dei tasti sulla parte superiore. Il controllo verticale di guadagno regola l'altezza dei segnali sullo schermo. Il controllo del tempo regola la velocità del grafico con cui attraversa lo schermo. I dati possono essere registrati e memorizzati su file per visualizzazioni successive. Il suono dei segnali ricevuti può persino essere sentito. Possono essere visualizzati fino a tre ricevitori supplementari. Questi possono essere sintonizzati su frequenze differenti. Confrontare i segnali alle differenti frequenze è il metodo più facile per determinare la distanza delle pulsar.
- **Programma di analisi dello spettro.** Gli spettri raccolti dallo spettrometro ottico sono conservati come file con un'estensione .CSP. Gli spettri possono essere visualizzati nella finestra dello strumento. Questa finestra permette di ingrandire gli spettri, di misurare l'intensità e la lunghezza d'onda in ogni punto e di misurare la quantità di assorbimento (denominato larghezza equivalente) delle linee spettrali. Per aiutare nella classificazione spettrale, è inoltre possibile visualizzare gli spettri di stelle standard di vario tipo adiacenti allo spettro sconosciuto.
- **Programma per astrometria.** Le immagini raccolte dal CCD e dalla macchina fotografica infrarossa sono conservate come file con estensione .FIT (questo corrisponde "Flexible Image Transport

System", il formato standard usato dagli astronomi). Possono essere caricate nel software di astrometria fino a 4 immagini. Il programma permette di visualizzare le immagini, di manipolare la luminosità ed il contrasto e zoomare sulle caratteristiche di particolare interesse. Inoltre permette di misurare le coordinate degli oggetti sulle immagini e di raffrontarle con un catalogo di stelle di riferimento e predice le posizioni future degli asteroidi in base ai loro movimenti misurati.

- Programma per l'Analisi delle Radio Pulsar. I segnali registrati dai radiorecettori sono conservati come file con estensione .PLR. Questi file di radiodati, che rappresentano l'intensità radio in funzione del tempo, possono essere esaminati con un programma di analisi. Il programma permette di ingrandire la scala dello schermo, per misurare tempo ed intensità e per confrontare i segnali fino a tre ricevuti. I cursori possono essere usati per contrassegnare i punti importanti sia negli assi orizzontali che verticali cliccando con i tasti del mouse.
- Editor per lo spettrometro, il fotometro, il misuratore di linee e i risultati delle pulsar. I dati numerici derivati dalle misure possono essere memorizzati in file di testo. Questi file possono essere rivisti, modificati, stampati usando gli editor integrati nel programma dell'osservatorio.
- Fogli elettronici. I file di dati di tipo testo per le esercitazioni di CLEA sono scritti in modo da poter essere importati dalla maggior parte dei fogli elettronici quali Excel®. Il foglio elettronico può funzionare indipendentemente, o può essere richiamato dalla barra dei menu dell'osservatorio educativo virtuale.

Conclusioni

Con il software di simulazione qui sopra spiegato brevemente è possibile effettuare delle esperienze astronomiche di elevato livello tecnico all'interno di una classe con pochissimo sforzo facendo emergere le peculiarità che comporta una ricerca scientifica.

Sul manuale è possibile trovare, inoltre, delle spiegazioni su come sviluppare un resoconto scientifico dell'analisi e delle scoperte fatte.

Infine è possibile scaricare il manuale in italiano dalla sezione Scuole e Associazioni del sito di IARA [5] [9].

Ringraziamenti

È doveroso un ringraziamento a Laurence "Larry" Marschall, direttore del progetto CLEA, per la sua disponibilità e il suo aiuto e soprattutto per concedere il permesso di mettere in rete i manuali da me tradotti oltre che sul sito di Project CLEA anche su quello dello IARA Group.

Bibliografia

- [1] Marschall, L. A., Hayden, M.B., Cooper, P.R., Luehrmann, M.K., Snyder, G.A., Good, R.F., Karshner, G.B., *Bulletin of the American Astronomical Society*, **24**, 1124, (1992)
- [2] Project CLEA, <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html>
- [3] Marschall, L., Luehrmann, M., Cooper, P.R., Hayden, M.B., Snyder, G., Good, R., *International Amateur-Professional Photoelectric Photometry Communication*, **53**, 39, (1993)
- [4] Sandri M., *Astronomia UAI*, **6**, 41-45, (luglio-agosto 2007)
- [5] IARA Group, <http://www.iaragroup.org/scuoleeassociazioni/>
- [6] Bernazzani M., *Astronomia UAI*, **2**, 31-33, (marzo-aprile 2006)
- [7] Snyder, G.A., Marschall, L.A., Cooper, P. R., *Bulletin of the American Astronomical Society*, **32**, 1558, (2000)
- [8] Marschall, L.A., Snyder, G. A., *Bulletin of the American Astronomical Society*, **36**, 1404, (2004)
- [9] CLEA Project, CLEA foreign language versions, <http://public.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAflang.html>