

MISURA DI VELOCITA' RADIALI CON FXCOR-IRAF

Ogni database consiste di ~100 spettri presi con lo spettrografo FLAMES del VLT nella regione del tripletto del calcio (8450-9000 Å) e con una risoluzione spettrale di ~18000. Gli spettri sono già estratti e calibrati in lunghezza d'onda, ma non sottratti dal contributo del cielo, non normalizzati e non corretti per la velocità radiale (RV) della stella osservata.

Le informazioni principali possono essere lette nell'header (ad esempio col comando *hselect* di IRAF), attraverso le keywords RA, DEC (che identificano le coordinate del puntamento), CRPIX1 (pixel di riferimento), CRVAL1 (lunghezza d'onda del pixel di riferimento), CDEL1 (dimensione in lunghezza d'onda di un pixel).

Cross-correlazione con FXCOR

Una volta entrati in IRAF (con *xgterm*) entrare nella task FXCOR dando i comandi

rv
epar fxcor

```
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = rv
TASK = fxcor

objects = []           List of object spectra
template=             List of template spectra
(apertur=             *) Apertures to be used
(cursor =             ) Graphics input cursor

(continuum=           both) Continuum subtract spectra?
(filter =             none) Fourier filter the spectra?
(rebin =              smallest) Rebin to which dispersion?
(pixcorr=             no) Do a pixel-only correlation?
(osample=             *) Object regions to be correlated ('*' => all)
(rsample=             *) Template regions to be correlated
(apodize=             0.2) Apodize end percentage

(function=            gaussian) Function to fit correlation
(width =              INDEF) Width of fitting region in pixels
(height =             0.) Starting height of fit
(peak =              no) Is height relative to ccf peak?
(minwidth=            3.) Minimum width for fit
(maxwidth=            21.) Maximum width for fit
(weights=             1.) Power defining fitting weights
(backgro=             0.) Background level for fit
(window =             INDEF) Size of window in the correlation plot
(wincent=            INDEF) Center of peak search window

(output =             ) Root spool filename for output
(verbose=             long) Verbose output to spool file?
(imupdat=            no) Update the image header?
(graphic=            stdgraph) Graphics output device

(interac=            yes) Interactive graphics?
(autowri=            yes) Automatically record results?
(autodra=            yes) Automatically redraw fit results?
(ccftype=            image) Output type of ccf

(observa=            kpno) Observation location database
(continp=            ) Continuum processing parameters
(filtpar=            ) Filter parameters pset
(keywpar=            ) Header keyword translation pset

(mode =              ql)
```

Le keywords principali che devono essere definite/cambiate sono:

OBJECTS – identifica lo spettro di cui vogliamo misurare la velocità radiale. Nel caso di una lista di spettri, viene fornito il nome del file ASCII contenente la lista dei .fits da analizzare; tale nome deve essere preceduto dal simbolo @ .

Per preparare una lista è sufficiente dare il comando `ls spec*.fits > lista` e poi scrivere @lista nella lista di parametri di FXCOR.

TEMPLATE – spettro di riferimento

REBIN – indica a quale campionamento spettrale vengono riportati sia lo spettro template che gli spettri da analizzare. In genere il valore di default (“smallest”) è la scelta migliore.

OSAMPLE – identifica la regione dello spettro da analizzare che verrà utilizzata per la cross-correlazione. Il valore * indica che tutto lo spettro verrà utilizzato. In alternativa si può selezionare una regione spettrale precisa usando la sintassi `a 8500 – 8700` che indica l'intervallo spettrale (in Angstroms) tra 8500 e 8700.

RSAMPLE – come sopra ma riferito allo spettro template. Le regioni spettrali definite da OSAMPLE e RSAMPLE possono essere diverse.

FUNCTIO – funzione utilizzata nel fit del picco della funzione di cross-correlazione (CCF).

BACKGRO - livello del background usato per il fit del picco della CCF. È consigliabile mettere come valore INDEF in modo da lasciare libero questo parametro

OUTPUT – rootname del file di output

VERBOSE – porre come valore *txtonly* ; i valori finali della cross-correlazione verranno scritti in un file chiamato rootname.txt

INTERAC – abilita la modalità interattiva (yes) o automatica (no)

Nella modalità interattiva comparirà sul display grafico lo zoom della CCF attorno al suo picco (quindi probabilità di correlazione in funzione dello shift in pixel). I punti segnati con il simbolo + sono quelli utilizzati per il fit gaussiano che è mostrato come una curva tratteggiata. Nel pannello superiore viene mostrata l'intera CCF. Nella barra inferiore sono riportate le principali informazioni riguardo al fit, quindi la FWHM e la RV.

Se il fit non converge, ma il picco della CCF è ben definito (in particolare con una forma simmetrica e un valore ragionevole di correlazione), è consigliabile cambiare a mano il livello del background, ad esempio posizionando il cursore grafico al livello di background desiderato e dando il comando *b* o scrivendo direttamente sul display grafico *:b (valore)*.

Dando il comando *q* si termina l'analisi dello spettro e i valori del fit vengono scritti nel file di output. L'output riporterà per ogni spettro analizzato le principali informazioni ottenute dal fit, in particolare la posizione del massimo della CCF in pixel, e la corrispondente probabilità di correlazione, la FWHM e la RV finale (dodicesima colonna).

Attenzione: se si analizza una lista di spettri in modalita' interattiva, il comando *q* terminera' la sessione di FXCOR, anche se non si e' terminata l'analisi dell'intera lista. In caso di lista, dopo ogni spettro dare il comando *n* (next) per passare all'analisi dello spettro successivo, finche' il programma non vi avvisa che la lista e' terminata. A questo punto dare *q*.

E' possibile salvare l'intera CCF in formato ASCII o in formato FITS. Questo e' possibile solo in modalita' interattiva e non quando si utilizza l'opzione *interact=no*.

Nei parametri di input di FXCOR porre

CCFTYPE – text (output in formato ASCII) o image (output in formato FITS)

Quando si utilizza la modalita' interattiva, scrivere sulla finestra grafica di FXCOR

:wccfoutput

dove output e' il nome del file dove verra' scritta la CCF.

Controllo della calibrazione in lunghezza d'onda.

Per controllare la possibilita' di un eventuale offset nello zero-point della calibrazione in lunghezza d'onda, si utilizza FXCOR eseguendo una cross-correlazione sulle righe di emissione del cielo. Poiche' esse sono nella posizione di laboratorio (quindi $RV=0$ km/s), una RV significativa (maggiore di 1-2 km/s) indica la presenza di un offset della calibrazione in lunghezza d'onda. Utilizzare come spettro template gli spettri 860L_18000.fits e 860U_18000.fits che contengono solo righe del cielo. E' sufficiente utilizzare uno solo dei due spettri, che campionano due regioni spettrali diverse, selezionando una regione con molte righe di emissione (ad esempio 8750-8800 Å).

Nel caso di un offset significativo (che puo' riguardare sistematicamente tutte le stelle o puo' essere limitato solo ad alcuni spettri) gli spettri vanno corretti per il loro offset usando la task DOPCOR che richiede in input

INPUT – spettro da correggere

OUTPUT – nome dello spettro di output

REDSHIFT – valore della velocita' radiale in km/s (e col proprio segno)

ISVELOC – yes (indica che il valore della keyword precedente e' una velocita' radiale e non un redshift)

Sottrazione del cielo

Poiche' FLAMES e' uno spettrografo a fibre, il cielo non puo' essere sottratto con lo stesso approccio utilizzato nel caso di spettri a slit. Alcune fibre vengono utilizzate per osservare regioni di cielo virtualmente vuote, quindi campionando il contributo del fondo cielo. Per ogni dataset e' fornita una tabella ASCII che riporta il nome dello spettro, l'identificativo della sorgente osservata, le coordinate RA e DEC e la magnitudine della sorgente.

Le fibre corrispondenti al cielo sono chiamate sky.

Si crea una lista degli spettri contenenti solo cielo e si crea un *mastersky* utilizzando la task

SCOMBINE di ONEDSPEC. La lista puo' essere create ad esempio col comando di shell

```
grep sky database1.table > lista
```

ma ricordarsi di lasciare solo la colonna col nome degli spettri.

Input - @lista

Output - nome del *mastersky*

Group - all

Combine - median

Le opzioni per combinare assieme gli spettri sono somma (*sum*), media aritmetica (*average*) e mediana (*median*). Quest'ultima, nel caso di almeno una decina di spettri e' la scelta che fornisce il risultato piu stabile (maggiore SNR e minore contaminazione da raggi cosmici o pixel difettosi).

Per sottrarre il cielo da ogni spettro si usa la task SARITH di ONEDSPEC che esegua operazioni aritmetiche tra due spettri. Nel nostro caso

```
sarith dset1.0050 - mastersky dset1.0050s
```

Ricordarsi prima di eseguire la task di porre la keyword *ignorea = yes*.

Conviene eseguire la sottrazione del cielo di ogni spettro con uno script IRAF che contenga in ogni riga l'istruzione *sarith* relativa ad una data stella. Inoltre conviene escludere da questa procedura gli spettri relativi al cielo, perche' ovviamente risultera' uno spettro centrato a zero e senza features (a parte raggi cosmici).

Misura delle RV

Il campione di spettro corretti per eventuali offset nella calibrazione in lunghezza d'onda e sottratti dal cielo possono ora essere analizzati con FXCOR per misurare le RV utilizzando come spettro template lo spettro sintetico *template_18000.fits*, calcolato alla risoluzione strumentale di FLAMES.

Si puo' procedere con varie strategie:

- analizzare una lista contenente tutti gli spettri in modalita' automatica (*interac=no*) e poi ricontrollare in modalita' interattiva solo gli spettri che non hanno raggiunto la convergenza (quindi con tutti i valori segnati come INDEF nel file di output), cambiando eventualmente il valore del background per migliorare il fit
- analizzare una lista contenente tutti gli spettri in modalita' interattiva (*interac=yes*), quindi controllando anche gli spettri per cui il programma converge ad una soluzione accettabile senza difficolta'

Sono forniti anche due spettri template calcolati a risoluzioni spettrali differenti (*template_5000.fits* con risoluzione 5000 e *template_40000.fits* con risoluzione 40000) e che possono essere usati per stimare l'impatto sulle RV della diversa risoluzione tra oggetto e template.

Simulazioni MonteCarlo per stimare l'incertezza sulla RV

Un metodo semplice per stimare l'incertezza sulla misura delle RV e' utilizzare simulazioni MonteCarlo, ovvero simulare N spettri che rispecchino la qualita' dello spettro analizzato e ripetere la misura delle RV. La dispersione della distribuzione di RV ottenuta dal campione di N spettri simulati puo' essere assunta come buona stima dell'errore dovuto al SNR e al pixel-size degli spettri. Se si sta lavorando con spettri ottenuti con lo stesso spettrografo, ma in condizioni di SNR differenti, allora il SNR rimane come unica variabile.

Lo spettro template usato per la misura delle RV puo' essere utilizzato per creare il campione di spettri simulati.

Come prima cosa da fare, ricampionare lo spettro allo stesso pixel-size degli spettri osservati.

Il pixel-size di uno spettro puo' essere letto con IRAF col comando

```
hselect (nome_spettro) CDELT1 yes
```

Copiare lo spettro template in un nuovo spettro e poi modificare la sua keyword CDELT1

```
hedit (nome_spettro) CDELT1 (VALORE)
```

Controllare sempre con hselect che la keyword sia stata cambiata correttamente.

Questo nuovo spettro ricampionato puo' essere modificato, aggiungendo un rumore Poissoniano a piacere, con la task di IRAF MKNOISE nel pacchetto ARTDATA. Parametri da cambiare:

Input – nome dello spettro template ricampionato

Output – nome dello spettro di output

Gain – porre un valore uguale a $(\text{SNR})^2$

Rdnoise – 0

Poisson – yes

Seed – INDEF

Questo comando creera' uno spettro uguale all'originale ma con aggiunta in ogni pixel di un rumore che segue la statistica di Poisson. Un modo efficiente per creare un campione ampio di spettri con un dato SNR (ma tutti differenti tra di loro) e' col seguente script IRAF

```
artdata
```

```
# ROOTNAME OF THE OUTPUT SPECTRA
```

```
s1 = "ciao"
```

```
delete(s1/"*.fits")
```

```
# SNR
```

```
x = 20
```

```
for (i=1; i <=10; i+=1) {
```

```
  s2 = s1/"_"/i
```

```
  print (i,s2)
```

```
# POISSONIAN NOISE
mknoise(input="template_rebin.fits",output=s2,rdnoise=0,gain=(x**2),poisson=yes,
seed=INDEF)
}
```

Per lanciarlo, dare il comando sul terminale xgterm
cl<nome_script

Alcuni comandi utili per gestire spettri monodimensionali

Per lavorare su spettri mono-dimensionali si utilizza il pacchetto IRAF ONEDSPEC. Dando il comando

onedspec

comparirà sul terminale la lista delle task presenti nel pacchetto.

Per visualizzare uno spettro

splot nome_spettro

quando si visualizza con *splot* uno spettro, dando sul display il comando *og* si può dare il nome di un secondo spettro e sovrapporlo.

Normalizzare uno spettro

Per normalizzare uno spettro si utilizza la task CONTINUUM che richiede in input

INPUT – spettro da normalizzare

OUTPUT – nome dello spettro di output

TYPE – indica il tipo di output: *ratio* salva in output il rapporto tra lo spettro e il fit del suo continuo (quindi lo spettro normalizzato), *fit* salva in output solamente il fit del continuo, *difference* salva la differenza tra lo spettro e il fit del continuo

INTERAC – abilita (yes) o meno (no) la modalità interattiva

FUNCTIO – funzione usata nel fit del continuo: *spline1* (spline lineare), *spline3* (spline cubica), *legendre* (polinomio di Legendre) e *chebyshev* (polinomio di Legendre).

ORDER – indica l'ordine del polinomio se si usa *legendre* o *chebyshev* o il numero di nodi della spline (*spline1* o *spline3*).

La scelta della funzione e del suo ordine dipendono moltissimo dallo spettro, dalla sua forma, dalla sua qualità, dalla presenza di difetti o raggi cosmici. Una buona scelta è partire da *spline3* e ordine 1 e poi aumentare l'ordine per migliorare il fit.

Misurare il SNR di uno spettro

La misura del rapporto segnale-rumore puo' essere fatta interattivamente selezionando una regione spettrale possibilmente piatta e senza features in assorbimento o in emissione (o comunque con un numero limitato di features deboli). Si visualizza con `splot` lo spettro in esame e si posiziona il cursore ai bordi della regione spettrale che si vuole utilizzare, digitando `m` su ognuno dei due punti. Sulla finestra grafica verra' riportata la statistica della regione in esame, il valore medio, la dispersione e il SNR.

Esportare uno spettro come file ASCII

Uno spettro in format FITS puo' essere esportato in formato ASCII con la task `wspectext`, fornendo il nome dello spettro, il nome dell'output (inclusa di estensione) e ponendo `header=no` in modo da non trascrivere l'intero header primario. Il file di output avra' la lunghezza d'onda come prima colonna e il flusso nella seconda.