

## Esempio di misure spettroscopiche in frequenza

Obiettivo: l'orizzonte Galattico della Via Lattea per coordinate :  
longitudine Galattica =  $140^\circ$  ; latitudine Galattica =  $0^\circ$

I dati di intensità del segnale in funzione della frequenza vengono elaborati dal programma "SpectraVue" con i seguenti parametri operativi

```
FFT Ave = 100 [media sulla fast Fourier Transform]
FFT/BLK = 4096 [blocchi FFT nell'intervallo di scansione]
Smooth = 0
Save FFT Data as CSV [genera un file di Comma Separated Values]
Demod Off
Time sampling = 10 [10 x 100millisec. = 1 sec.]
Center Frequency = 1420405752 Hz
Frequency Span = 1600000 Hz (1,6 MHz)
```

Con i questi settaggi operativi in circa 8~12 minuti la quantità di dati raccolti è sufficiente per una elaborazione standard. Si ottiene un file con estensione .csv facilmente decodificabile in ambiente MatLab; infatti esso viene trasformato in una matrice dove la prima riga contiene le singole frequenze dalla minore alla maggiore dell'intervallo di scansione e quelle successive i dati di intensità relativi ad ogni frequenza.

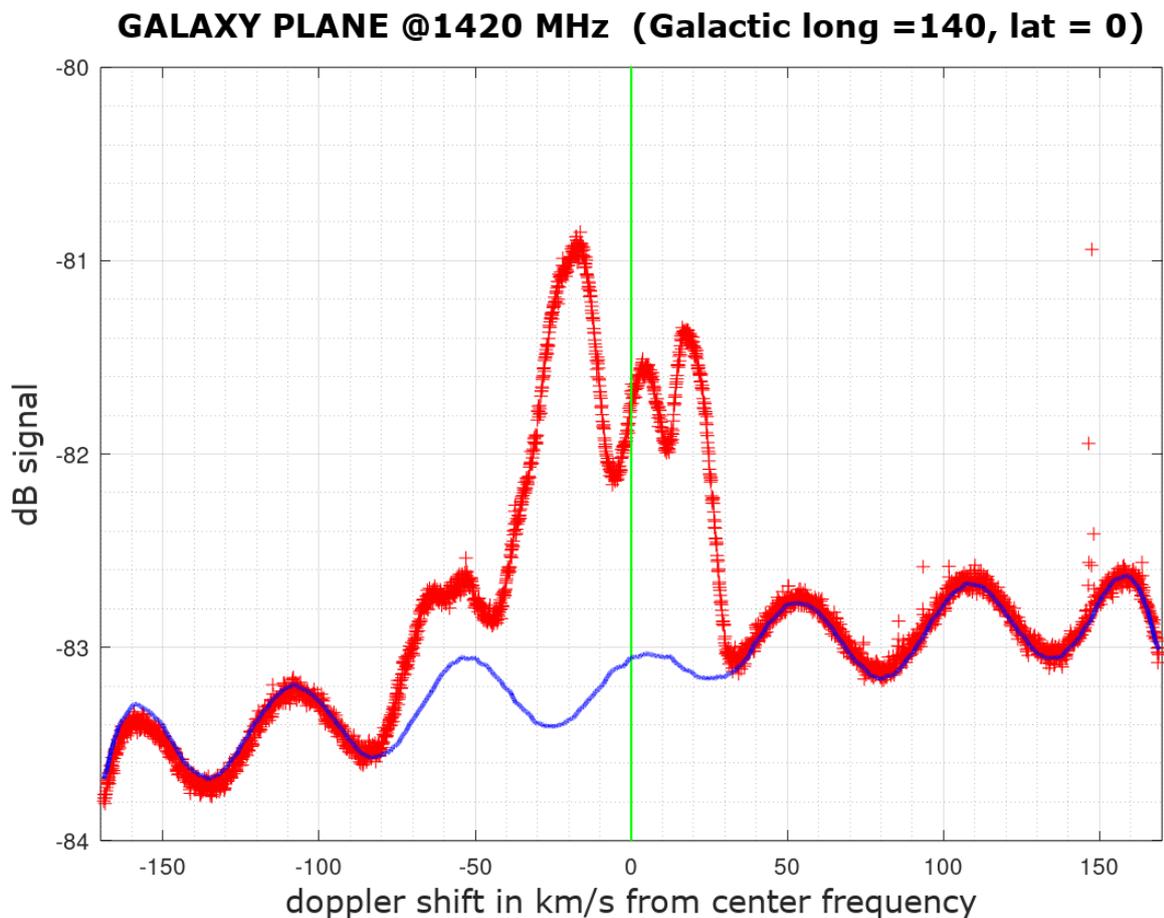


Fig.1 Spettro in frequenza per un'angolazione di esempio sull'equatore Galattico

Nella successiva elaborazione, i dati di intensità vengono mediati (media aritmetica) in un unico valore ed i dati di frequenza vengono trasformati in 'doppler shift' (spostamento di riga dovuto all'effetto Doppler, unità di misura km/s), secondo la seguente formula :

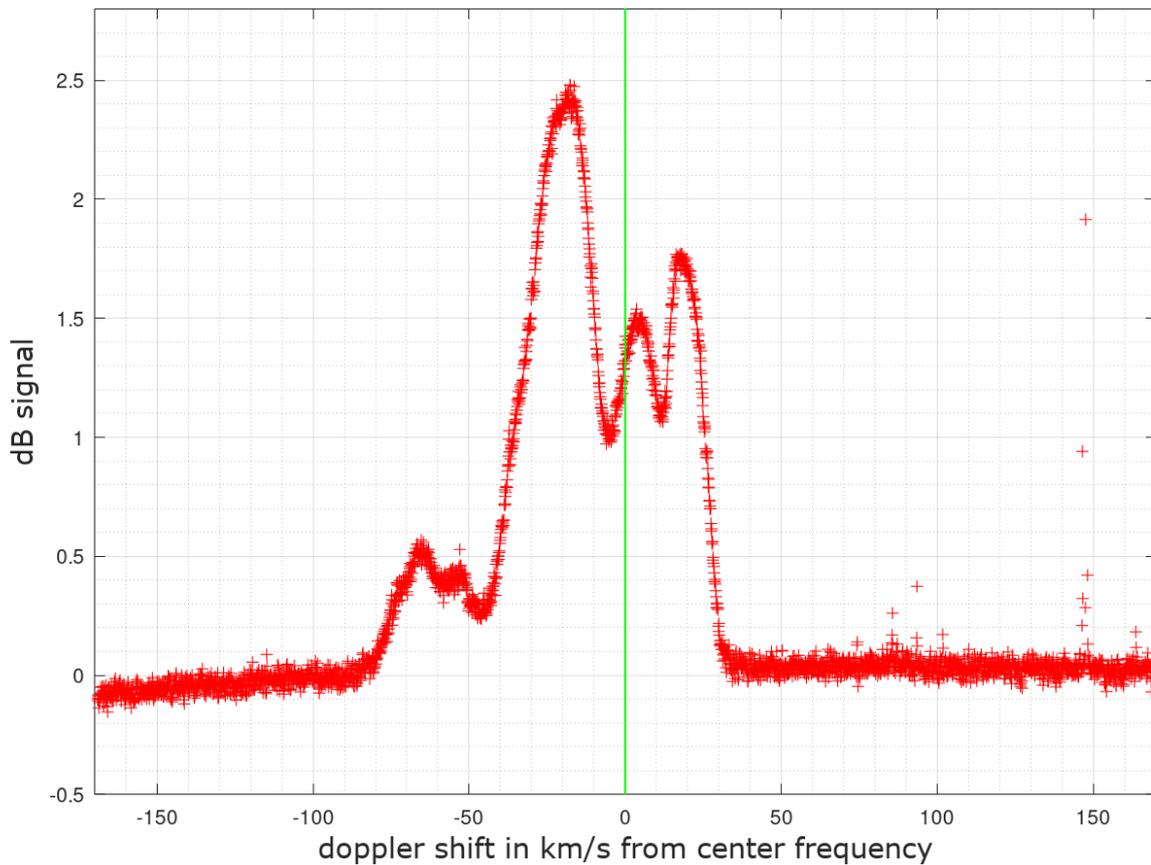
$$v = c \cdot \frac{F_0 - F}{F_0} \quad (\text{formula non-relativistica})$$

dove  $v$  = Doppler shift (km/s) ;  $c$  = velocità della luce (km/s) ;  $F_0$  = center frequency  
 $F$  = frequenza misurata. Ad esempio per uno shift dalla frequenza centrale di 0,5 Mhz, si ottiene una velocità Doppler di 105,6 km/s. Le velocità positive indicano un allontanamento dell'oggetto (e quindi frequenza più bassa della *center frequency*) l'opposto per le velocità negative.

Si ottengono quindi in ambiente MatLab due vettori equidimensionati, il primo con le velocità ed il secondo con le intensità (mediate). E' facile quindi rappresentare in grafico cartesiano (x,y) questi due vettori con delle crocette rosse (fig.1)

Una prima necessaria elaborazione consiste nella sottrazione del rumore di fondo (radiazione cosmica di fondo, rumore strumentale ed armoniche indesiderate attorno a 250 kHz). A questo scopo si è eseguita una scansione in frequenza con le stesse modalità ma puntando l'antenna del radiotelescopio in una zona priva di segnali utili, come il polo sud galattico. In fig.1 la linea blu indica appunto questo spettro di frequenza spurio o '*background noise*' o semplicemente *bkg* che andremo a sottrarre punto per punto ottenendo il grafico di fig.2

**Background corrected GALAXY PLANE @1420 MHz (Galactic long =140, lat = 0)**



*Fig.2 Lo spettro in frequenza è stato sottratto dal rumore di fondo. Notare la linea verde che indica la frequenza centrale di 1420405752 Hz.*

I dati sottratti dal 'bkg' di fig.2 sono la base per le ulteriori analisi. La prima è la deconvoluzione del profilo, ossia la ricerca delle curve componenti semplici di cui il profilo complessivo è la somma. Ogni componente ha un'origine diversa nella distribuzione dell'idrogeno atomico (H I) nello spazio interstellare della nostra Galassia. Di solito il profilo di curva utilizzato è la funzione Gaussiana, anche se esistono altri profili, come la lorenziana, ad esempio.

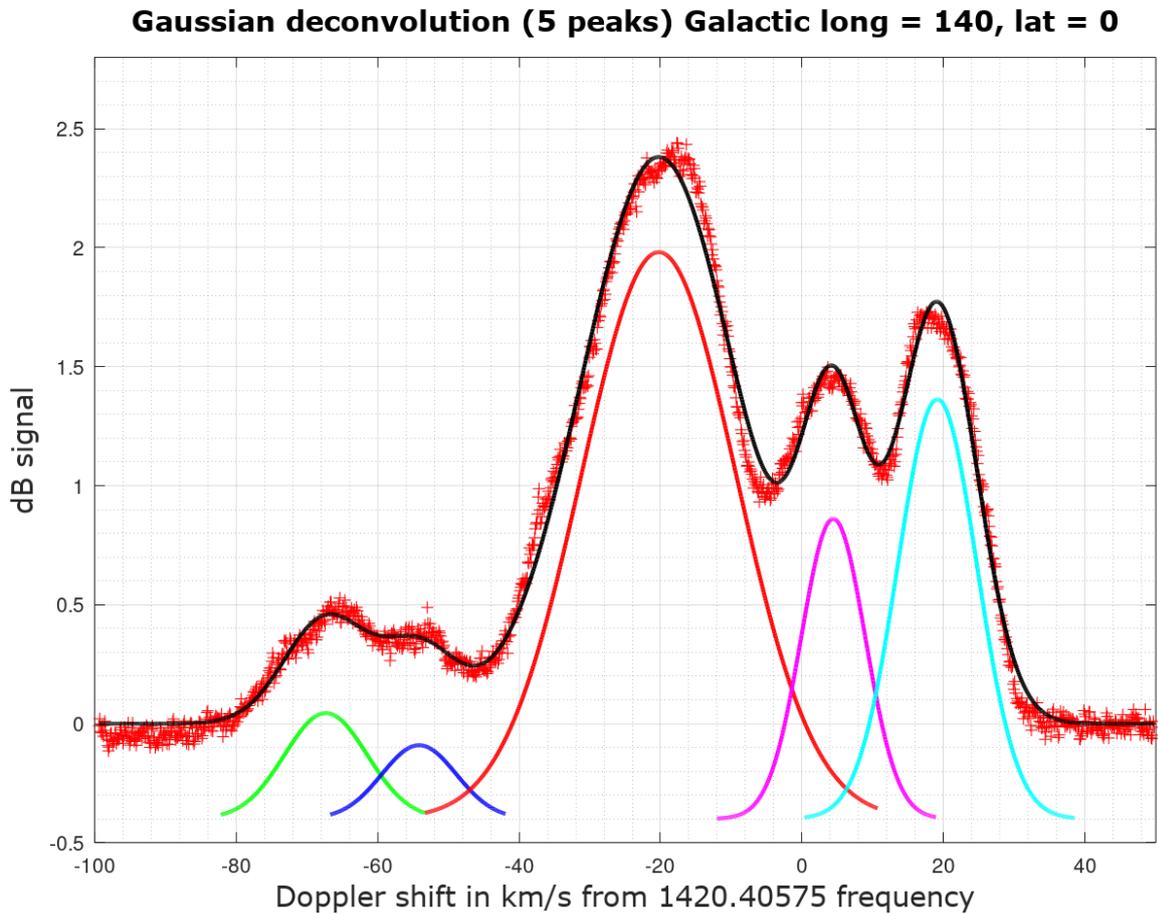
In matematica, una funzione gaussiana, spesso semplicemente chiamata Gaussiana, è una funzione della forma base:

$$y = a \cdot \exp\left[-\log(2) \cdot \frac{(x-b)^2}{c^2}\right] + d$$

per costanti reali arbitrarie  $a$ ,  $b$  e  $c$  non nulle. Prende il nome dal matematico Carl Friedrich Gauss. Il grafico di una gaussiana è una caratteristica forma simmetrica a "curva a campana". Il parametro  $a$  è l'altezza del picco della curva,  $b$  è la posizione del centro del picco e  $c$  la Half Width at Half Maximun (HWHM). Questa ampiezza a metà

altezza del picco controlla quindi la larghezza della "campana". 'd' è il valore della costante di fondo, nel nostro caso, avendo già sottratto *bkg*,  $d = 0$ .

Le funzioni gaussiane sono spesso utilizzate per rappresentare la funzione di densità di probabilità di una variabile casuale distribuita normalmente.



*Fig.3 Deconvoluzione con 5 curve a campana gaussiane della curva in fig.2*

I coefficienti caratteristici **a,b,c** delle 5 gaussiane sono riportati qui di seguito.

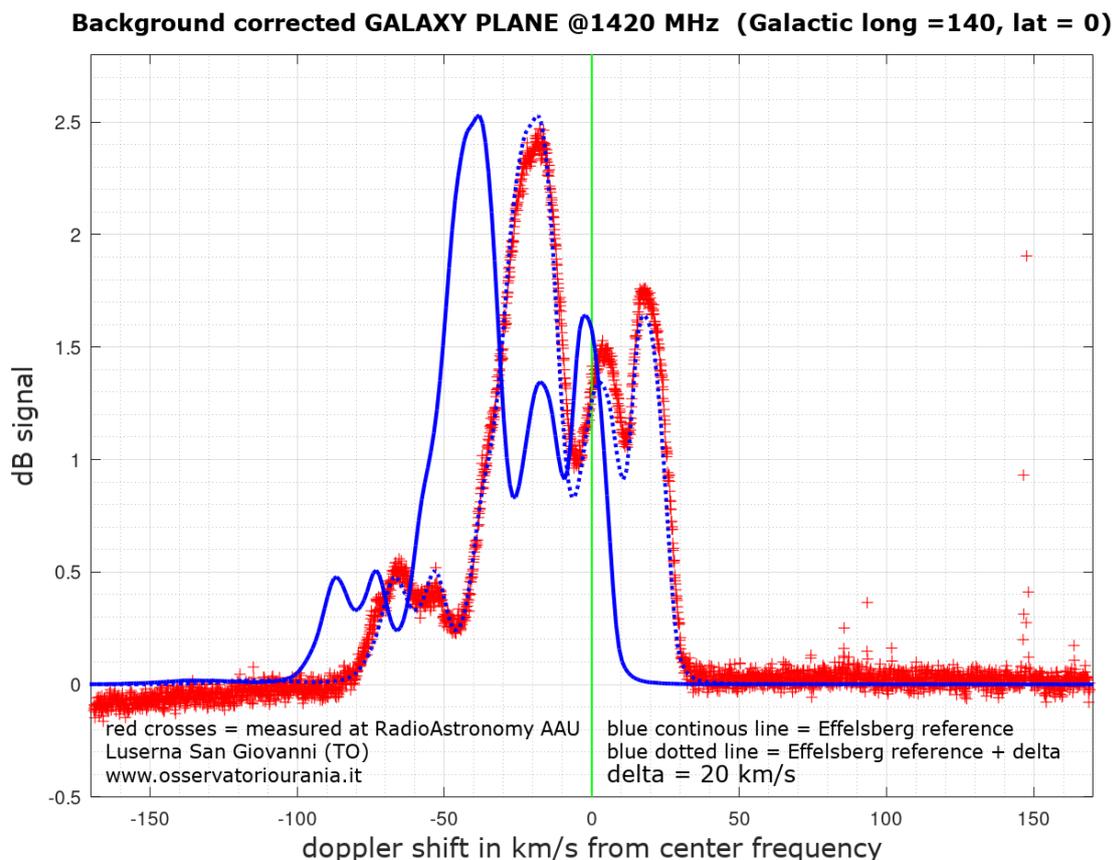
Curva verde	a= -67.3069;	b= 0.4445;	c= 6.8670
Curva blu	a= -54.1339;	b= 0.3096;	c= 6.1994
Curva rossa	a= -20.2515;	b= 2.3814;	c= 12.8955
Curva magenta	a= 4.4134;	b= 1.2610;	c= 5.3253
Curva ciano	a= 19.1228;	b= 1.7635;	c= 6.5712

La convoluzione delle 5 gaussiane è rappresentata in nero in fig.3.

Un diverso tipo di elaborazione della curva di fig.2 è il confronto con i dati di riferimento del radiotelescopio di Effelsberg, reperibili in rete all'URL :

<https://www.astro.uni-bonn.de/hisurvey/euhou/LABprofile/index.php>

Sul sito si possono simulare spettri di frequenza per qualunque punto della sfera celeste, specificando coordinate (galattiche od equatoriali), apertura del fascio (0,6° il valore di default, per noi 2°) e infine l'intervallo di velocità relative (default da -400 a +400 km/s ma nel nostro caso da -200 a 200 km/s è sufficiente).



*Fig.4 Confronto con i dati di riferimento dell'osservatorio universitario di Bonn presso Effelsberg. Le croci rosse come sempre indicano i dati sperimentali detratti da 'bkg' , la linea blu continua il riferimento citato (per un'apertura di fascio di 2°) mentre la linea blu a puntini indica il riferimento traslato per compensare degli effetti LSR (Local Standard of Rest) e della rivoluzione solare.*

Come si nota dalla fig.4 l'accordo è eccellente, a meno di una traslazione (nel caso presentato infigura di +20 km/s). Questo è dovuto al movimento della terra nella rivoluzione attorno al sole, con una velocità di circa 30 km/s, in grado di influenzare quindi la misura. Essendo il l'antenna puntata generalmente al di fuori del piano dell'eclittica, questa velocità va sommata vettorialmente al Doppler shift, e quindi la correzione (delta in fig.) cambia a seconda delle coordinate del puntamento.

Un altro fattore di correzione è dovuto al movimento del sole all'interno della galassia, con una velocità radiale di circa 220 km/s. Per ovviare a ciò i dati di misure radio della Galassia sono riferiti ad un baricentro locale del gruppo di stelle attorno al sole (LSR, Local Standard of Rest)