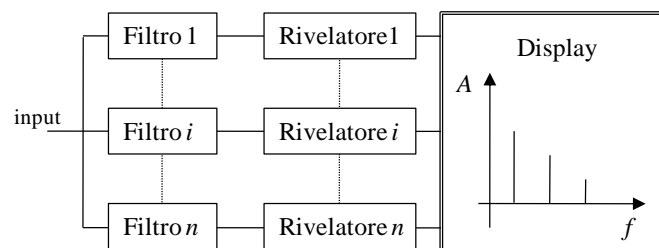


# Analizzatori di spettro

## 1 – Introduzione all'analisi spettrale

### Analisi spettrale in tempo reale

Da un punto di vista concettuale uno strumento atto ad effettuare l'analisi spettrale di un segnale può essere realizzato, come mostrato in Fig. 1.1, inviando il segnale in ingresso a  $n$  filtri passa banda, le cui bande passanti coprono l'intero campo delle frequenze di interesse. Le uscite di questi filtri vengono trattate con opportuni rivelatori per ottenere le ampiezze delle componenti spettrali, che vengono infine visualizzate proprio in funzione delle frequenze centrali delle bande dei filtri.



**Fig.1.1** – Schema di principio di un analizzatore di spettro con banco di filtri

Il vantaggio di questo schema è costituito dal fatto che tutte le componenti spettrali vengono valutate e visualizzate contemporaneamente. Questa caratteristica lo rende adatto per l'analisi di segnali con spettri tempo-varianti (segnali non stazionari) e per questo motivo esso viene chiamato analizzatore di spettro in tempo reale (*real-time spectrum analyzer*).

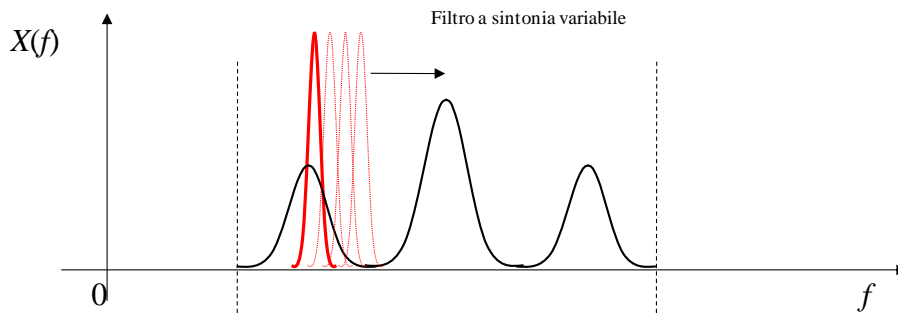
Il principale inconveniente è rappresentato dal fatto che, per ottenere una buona risoluzione in frequenza in una gamma di frequenze abbastanza ampia, occorrerebbe utilizzare un numero elevato di filtri con banda sufficientemente stretta.

Pertanto, nell'ambito della strumentazione di misura l'implementazione analogica per la realizzazione di un analizzatore di spettro in tempo reale trova scarso impiego e ad essa viene preferita la soluzione digitale, basata sulla FFT.

### Analisi spettrale con filtro a sintonia variabile

In presenza di segnali con spettro tempo-invariante (segnali stazionari o quasi stazionari) appare più opportuno scandire l'intero spettro del segnale da analizzare mediante un unico filtro opportunamente accordato (*sweep tuned spectrum analyzer*).

Una prima soluzione potrebbe essere rappresentata da un filtro la cui sintonia può essere variata elettronicamente (Fig. 1.2).



**Fig.1.2** – Filtro a sintonia variabile

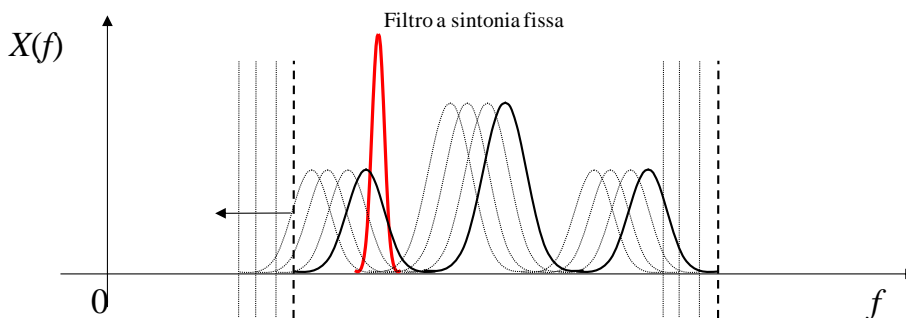
Tale soluzione, che in linea di principio appare semplice, risulta però caratterizzata da diversi problemi di natura pratica. Infatti non è possibile realizzare un filtro a sintonia variabile con banda sufficientemente stretta su un'ampia gamma di frequenze e quindi si potrebbero ottenere solo gamme di frequenze limitate e con risoluzione non molto stretta. Inoltre, poiché la larghezza di banda del filtro dipende dalla sua frequenza centrale, la risoluzione in frequenza dell'analisi non sarebbe costante.

## 2 – Analizzatore di spettro a supereterodina

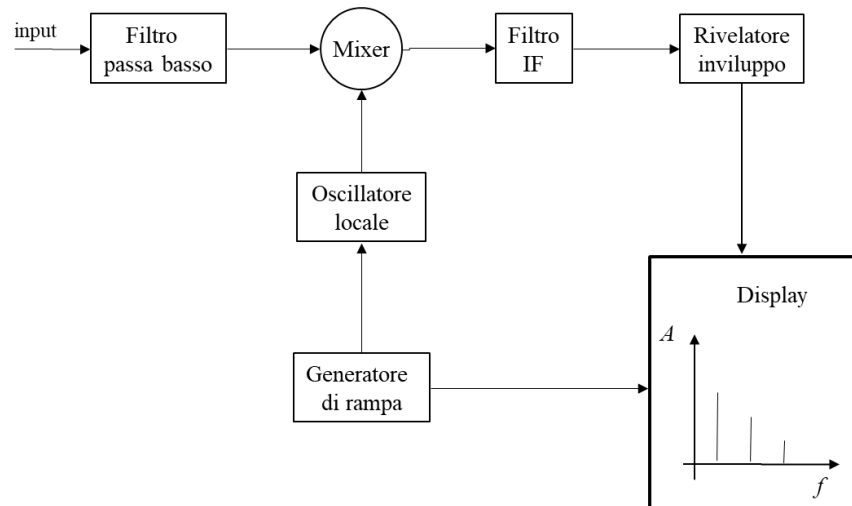
### Schema di funzionamento

La soluzione più comunemente impiegata per gli analizzatori di spettro *sweep tuned* consiste nel far scorrere lo spettro del segnale lungo l'asse delle frequenze, in modo che esso possa essere analizzato da un filtro passa banda a frequenza centrale fissa (Fig. 2.1).

Lo scorrimento dello spettro può essere ottenuto con la tecnica della supereterodina, cioè *mescolando* il segnale di ingresso con un segnale sinusoidale a frequenza variabile generato da un oscillatore locale (LO). La Fig. 2.2 mostra lo schema di un analizzatore di spettro basato su questo principio.

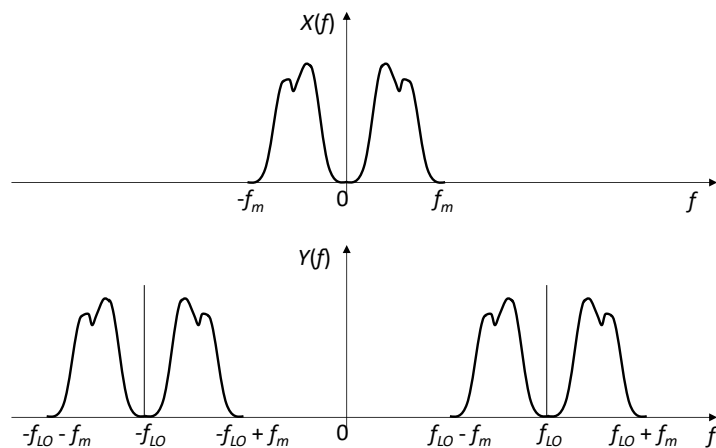


**Fig.2.1** – Filtro a sintonia fissa e scorrimento dello spettro



**Fig.2.2** – *Analizzatore di spettro a supereterodina*

Lo spettro  $X(f)$  del segnale di ingresso, passando nel *mixer*, viene traslato nell'asse delle frequenze di una quantità pari alla frequenza  $f_{LO}$  del segnale fornito dall'oscillatore locale, ottenendo all'uscita lo spettro  $Y(f) = X(f \pm f_{LO})$ . La Fig. 2.3 riporta gli spettri del segnale originario, che si ipotizza limitato superiormente dalla frequenza  $f_m$ , e di quello traslato.



**Fig.2.3** – *Spettro del segnale di ingresso,  $X(f)$ , e di uscita,  $Y(f)$ , del mixer*

Il segnale così convertito viene inviato in ingresso a un filtro passa banda a frequenza intermedia (*Intermediate Frequency, IF*).

Se  $f_{in}$  è una frequenza contenuta nello spettro del segnale da analizzare, l'uscita del *mixer* conterrà le frequenze  $f_{LO} \pm f_{in}$ . Poiché la frequenza centrale del filtro intermedio,  $f_{IF}$ , è più piccola della minima frequenza generata dall'oscillatore locale,  $f_{LOmin}$ , le uniche componenti del segnale di ingresso che possono attraversare il filtro IF sono quelle la cui frequenza  $f_{in}$  è tale per cui la differenza  $f_{LO} - f_{in}$  ricade all'interno della banda passante del filtro stesso.

Al variare della frequenza  $f_{LO}$  questa condizione viene raggiunta, sequenzialmente, per le diverse componenti spettrali del segnale di ingresso (Fig. 2.4).



quindi essere impostati in modo tale che tale rapporto sia sufficientemente basso. Gli strumenti più recenti presentano un blocco che impedisce combinazioni non corrette.

### **Prestazioni**

Il dato più importante per caratterizzare le prestazioni di un analizzatore di spettro è il campo di frequenze che il dispositivo consente di analizzare.

Il limite superiore nelle realizzazioni moderne raggiunge le diverse decine di gigahertz.

Il limite inferiore è condizionato dal fatto che, per consentire il funzionamento alle basse frequenze, la frequenza minima dell'oscillatore locale  $f_{LOmin}$  deve tendere a quella del filtro a frequenza intermedia  $f_{IF}$ . Al limite, per visualizzare anche la componente continua dovrebbe essere  $f_{LOmin} = f_{IF}$ . Negli analizzatori di spettro commerciali la frequenza più bassa analizzabile varia da pochi hertz alle decine di kilohertz.

Altri aspetti di interesse sono:

- la risoluzione in frequenza (*Resolution Bandwidth, RBW*) che individua la capacità di distinguere due componenti spettrali prossime tra loro ed è determinata essenzialmente dalla banda passante del filtro IF (si è già osservato che una migliore RBW, cioè una banda passante più stretta, determina l'aumento del tempo totale della scansione);
- l'accuratezza delle misure di frequenza e di ampiezza, che può riguardare sia le misure assolute che quelle relative (ad esempio il valore di una componente armonica rispetto alla fondamentale);
- il *range dinamico*, che rappresenta la differenza tra il massimo e il minimo valore di ampiezza che lo strumento è in grado di misurare contemporaneamente;
- la sensibilità, limitata dalle diverse cause di rumore presenti;
- la distorsione, introdotta prevalentemente dal mixer.

La valutazione di questi parametri dipende da una molteplicità di fattori, a causa della complessità intrinseca dello strumento. Le specifiche fornite dai costruttori indicano spesso il valore di diversi parametri con riferimento ad alcune situazioni specifiche, dalle quali l'utente deve estrapolare le informazioni da applicare alla situazione reale della misura effettuata.