



## Alternanza Scuola - Lavoro



# RICEVITORI HF

Tradizionali  
Tradizionali + DSP  
SDR  
Digitali

## Ricevitori tradizionali

Dopo l'invenzione del triodo amplificatore, nacquero i primi Rx ad amplificazione diretta.

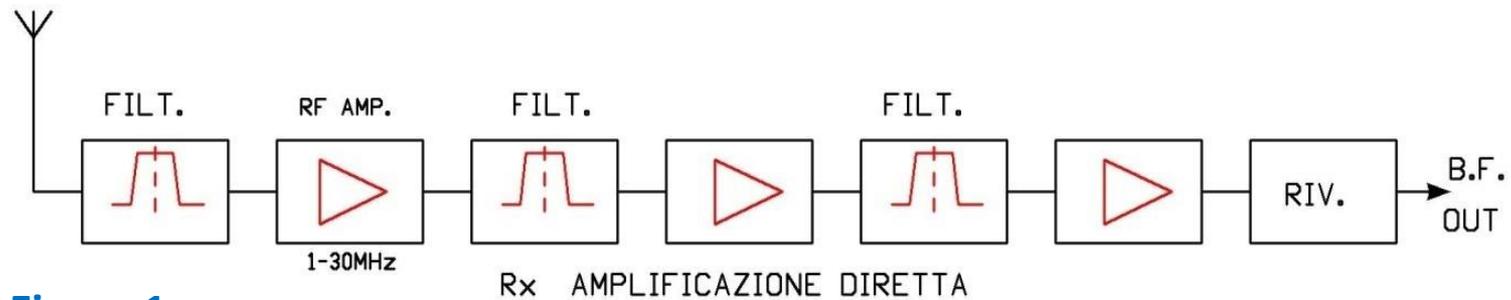


Figura 1

Le prime esperienze con questi ricevitori, misero in evidenza che per avere una buona selettività, i filtri, che allora erano soltanto del tipo LC (figura 2), dovevano essere costituiti da **almeno** 5 circuiti risonanti.

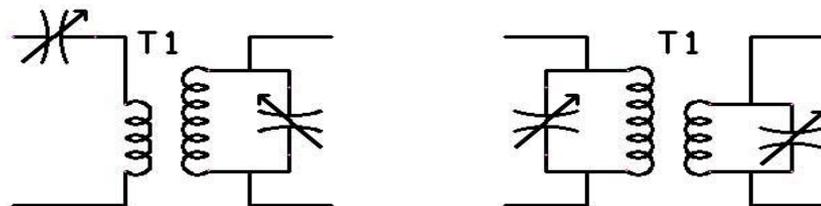


Figura 2

I condensatori variabili erano comandati da un unico asse, ma avevano l'inconveniente che per ampie variazioni di frequenza perdevano l'allineamento ed il ricevitore, anche a causa delle valvole dell'epoca, perdeva sensibilità con l'aumentare della frequenza.

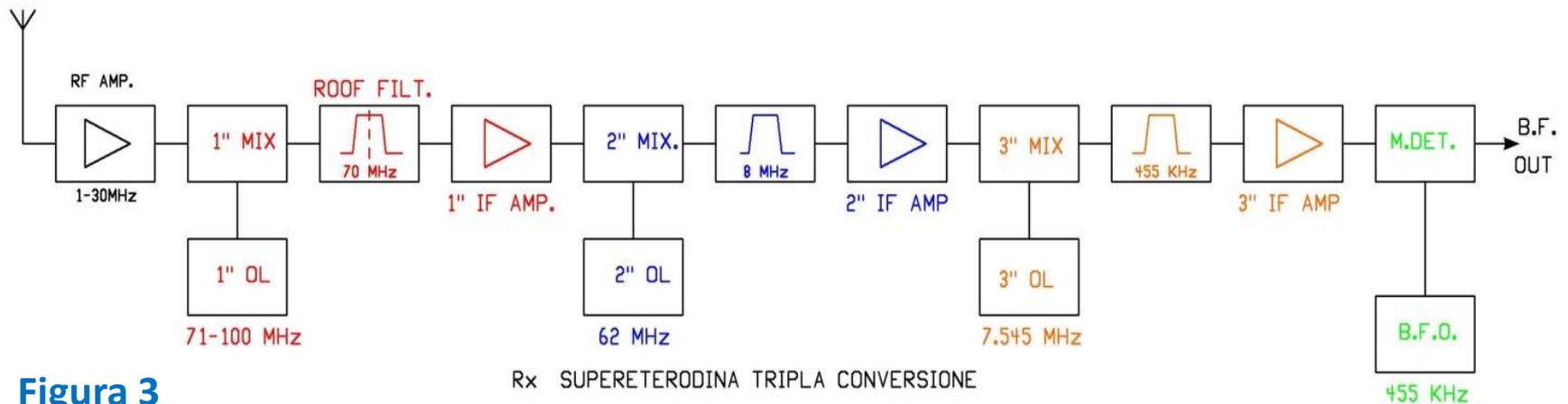
Si passò allora al sistema detto **super-eterodina** nel quale, il segnale proveniente dall'antenna veniva subito convertito in un altro segnale, avente le stesse caratteristiche di modulazione ma **di frequenza più bassa e di valore fisso**.

Questa operazione si otteneva inviando il segnale di antenna alla griglia del triodo, mentre sul catodo si inviava un segnale **non modulato** prodotto all'interno del ricevitore (**Oscillatore Locale o eterodina**) ed avente una frequenza di alcune centinaia di KHz più alta del segnale da ricevere.

Sulla placca del triodo si ottenevano, oltre ai segnali presenti in griglia e catodo, anche dei segnali la cui frequenza era pari alla loro somma ed alla loro differenza. L'uscita di questo triodo, **detto convertitore di frequenza**, veniva inviata ad alcuni amplificatori sintonizzati sulla frequenza differenza.

Questo sistema consentiva di utilizzare le valvole nel campo di frequenza dove avevano il massimo guadagno e soprattutto gli amplificatori, una volta sintonizzati su quella frequenza fissa (**tarati**), che venne detta intermedia (**FI**), non dovevano essere più sintonizzati.

I ricevitori super-eterodina nel corso degli anni hanno subito numerose modifiche e migliorie e costituiscono ancora oggi la base dei ricevitori tradizionali moderni



**Figura 3**

Lo schema a blocchi di figura 3 è relativo ad un ricevitore per HF a tripla conversione.

Se la super-eterodina aveva risolto il problema del guadagno delle valvole alle alte frequenze e della sintonia dei 5 circuiti risonanti, per contro aveva creato un altro problema che era quello della **frequenza immagine**, ossia quello di ricevere, contemporaneamente al segnale utile, anche segnali non desiderati, distanti dal segnale utile di un valore pari al doppio del valore della FI.

Facciamo un esempio.

Supponiamo di avere un ricevitore con una sola conversione ed avente una frequenza intermedia (FI) di **455 KHz**. Se dobbiamo ricevere un segnale  $f_1 = 14000$  KHz l'**oscillatore locale** del nostro ricevitore oscillerà a  $f_2 = 14455$  KHz, così

$$\text{KHz } 14455 - 14000 = 455 \text{ KHz}$$

E noi riceveremo perfettamente il segnale desiderato senza problemi, ma .... se a 14910 KHz è presente un altro segnale, riceveremo anche questo perché

$$\text{KHz } 14910 - 14455 = 455 \text{ KHz}$$

Questo segnale non voluto viene chiamato frequenza immagine. Per eliminare la frequenza immagine, si deve scegliere un valore di 1° IF tale che l'eventuale segnale disturbante cada molto fuori della banda di lavoro del mixer e del preamplificatore d'antenna, (forte attenuazione).

Per un Rx a larga banda HF, si arriva ad una IF di circa 70MHz. Risolto il problema della frequenza immagine se ne crea un altro, la larghezza di banda del filtro di prima IF (**ROOFING FILTER**).

A 70 MHz, anche utilizzando filtri a quarzo, di alto costo e di attenuazione accettabile (**insertion loss**), la larghezza di banda risulta di 3 – 4 KHz, troppo larga sia per il CW che per l'SSB, si introdusse allora una **seconda (8 – 9 MHz)** ed una **terza conversione (455 KHz)** nelle cui IF è possibile utilizzare filtri più stretti, nonché distribuire meglio l'amplificazione totale del ricevitore e la catena dell'AGC.

Segue poi lo stadio **rivelatore a prodotto** ed il **BFO (Beat Frequency Oscillator)**.

# Ricevitori tradizionali + DSP

Lo sviluppo di convertitori AD sempre più veloci, ha permesso di realizzare, in unione con un microprocessore, dispositivi di elaborazione numerica dei segnali con frequenze sino a circa 100KHz.

Questi dispositivi, detti **DSP** (**D**igital **S**ignal **P**rocessor), largamente usati nelle schede audio dei PC col nome di **Sound Blaster**, consentono di realizzare filtri di caratteristiche tali che sarebbe impossibile ottenerli con metodi tradizionali. Applicando quindi un DSP ad un ricevitore HF si ottiene un miglioramento della comprensibilità del segnale ricevuto di circa 8 – 10 dB.

Le elaborazioni numeriche del DSP, consentono **anche altre manipolazioni del segnale** come amplificazione, compressione, modulazione demodulazione, ecc.

E' allora possibile eliminare alcuni stadi quali:

- rivelatore a prodotto e BFO
- filtro notch
- noise blanker
- processor
- squelch
- IF shift
- ecc.

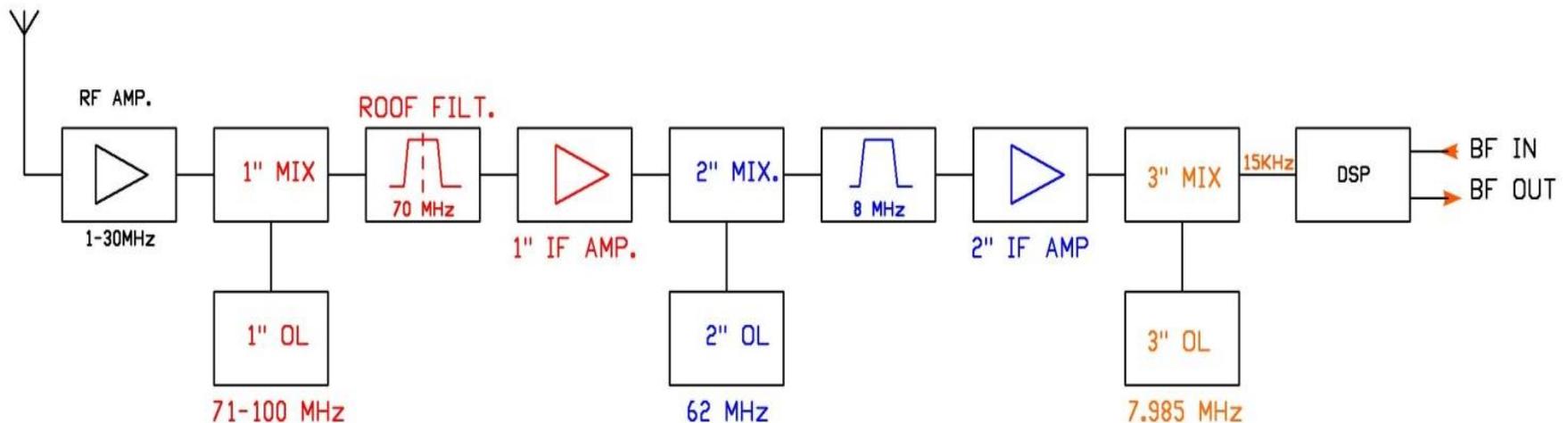


Figura 4

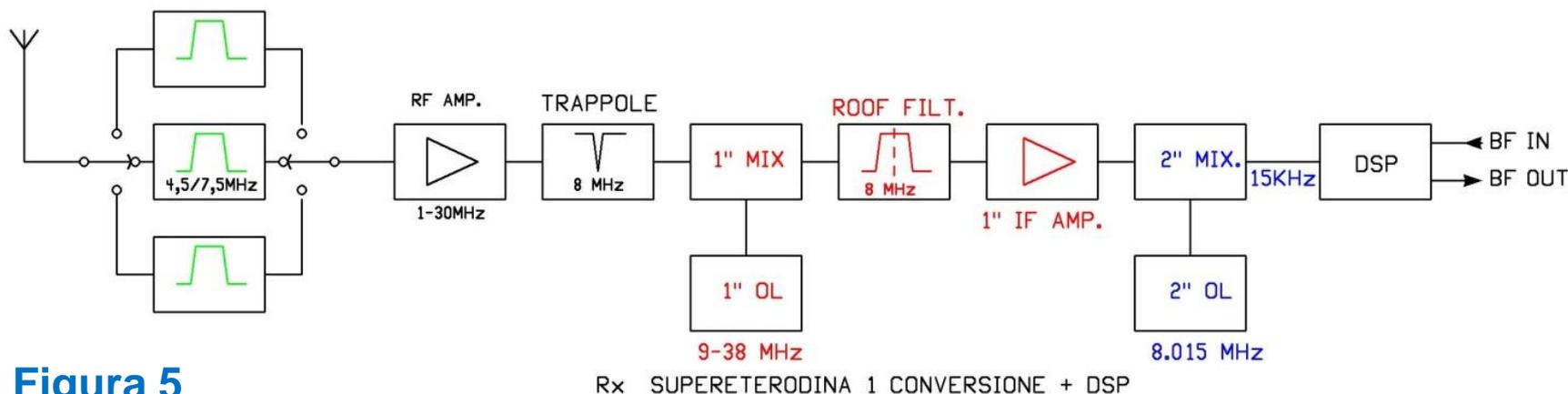
Rx SUPERETERODINA TRIPLA CONVERSIONE CON DSP

Quello di figura 4 è sostanzialmente lo **schema a blocchi della maggior parte dei ricevitori prodotti negli ultimi 10 – 15 anni ed ancora largamente usato.**

Considerando bene le grandi possibilità offerte dal DSP, si è visto che per alcuni RTx, **destinati a particolari utilizzatori che** utilizzano solo alcune bande dello spettro HF e **non hanno la necessità della copertura continua da 1,6 a 30MHz**, si può vantaggiosamente ritornare ai ricevitori ad 1 – 2 conversioni, con la prima IF tra 8 e 10MHz, così da ridurre sensibilmente il rumore intrinseco del ricevitore ed utilizzare, in IF, economici filtri a quarzo con fianchi ripidi e larghezze di banda tra 500 e 3000 Hz.

In questi casi il problema della **frequenza immagine** può essere superato ponendo all'ingresso del ricevitore, prima del primo mixer, una serie di filtri di banda, del tipo

LC, dimensionati in modo tale che la banda di interesse capiti all'estremo superiore del filtro, e che di conseguenza **attenui fortemente la frequenza immagine.**



**Figura 5**

In un Rx destinato alla ricezione delle bande amatoriali, avente una conversione a 8MHz più una seconda conversione a 15 KHz (figura 5), sarà necessario inserire, tra l'antenna ed il preamplificatore a RF, una serie di filtri commutabili aventi le frequenze di taglio superiori coincidenti con le bande OM.

Se sintonizziamo l’Rx a 7,000 MHz la frequenza immagine cadrà a 23 MHz ( $7+2 \times 8$ ), ma se il filtro d’antenna inizia ad attenuare a 7,500 MHz, anche senza costruire un filtro di particolari caratteristiche, a 23 MHz avremo una attenuazione della frequenza immagine di più di 46dB (punto 4 di figura 6).

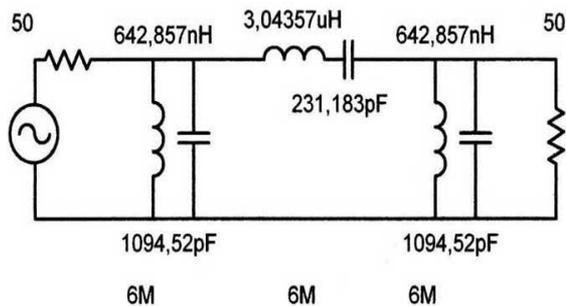
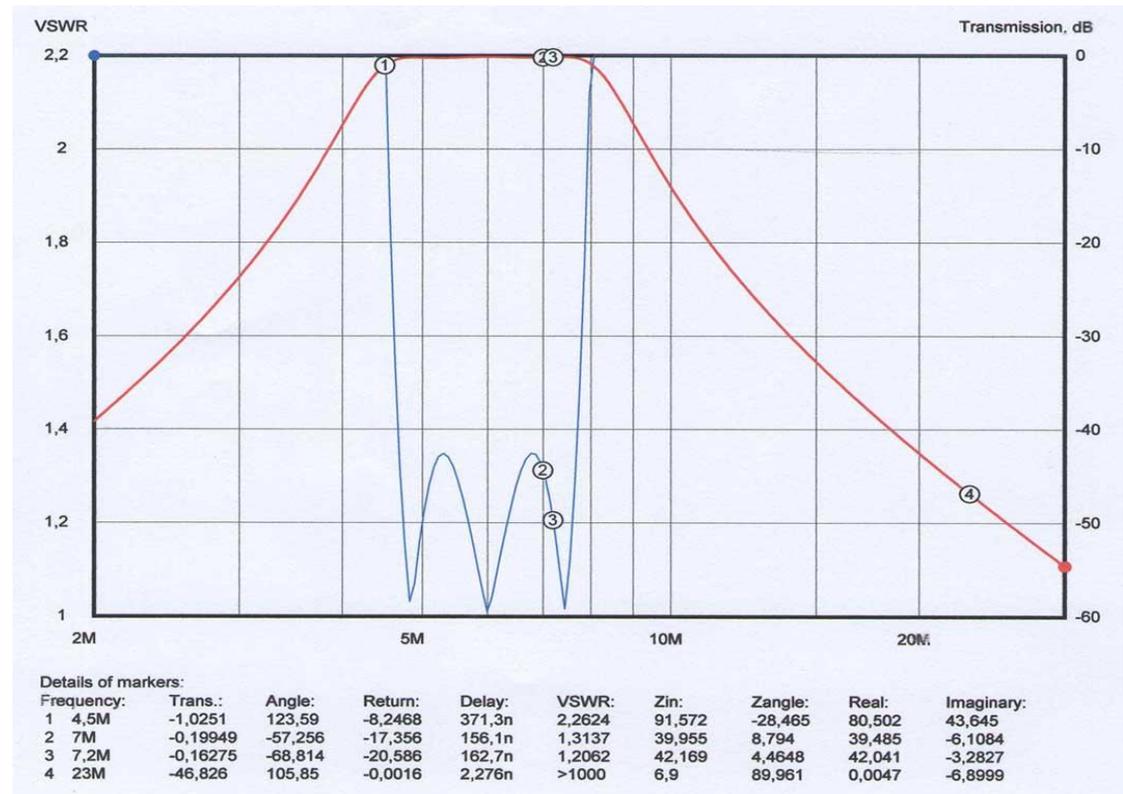


Figura 6



Ossia il filtro ridurrà una frequenza immagine da **S9** a **S1**.

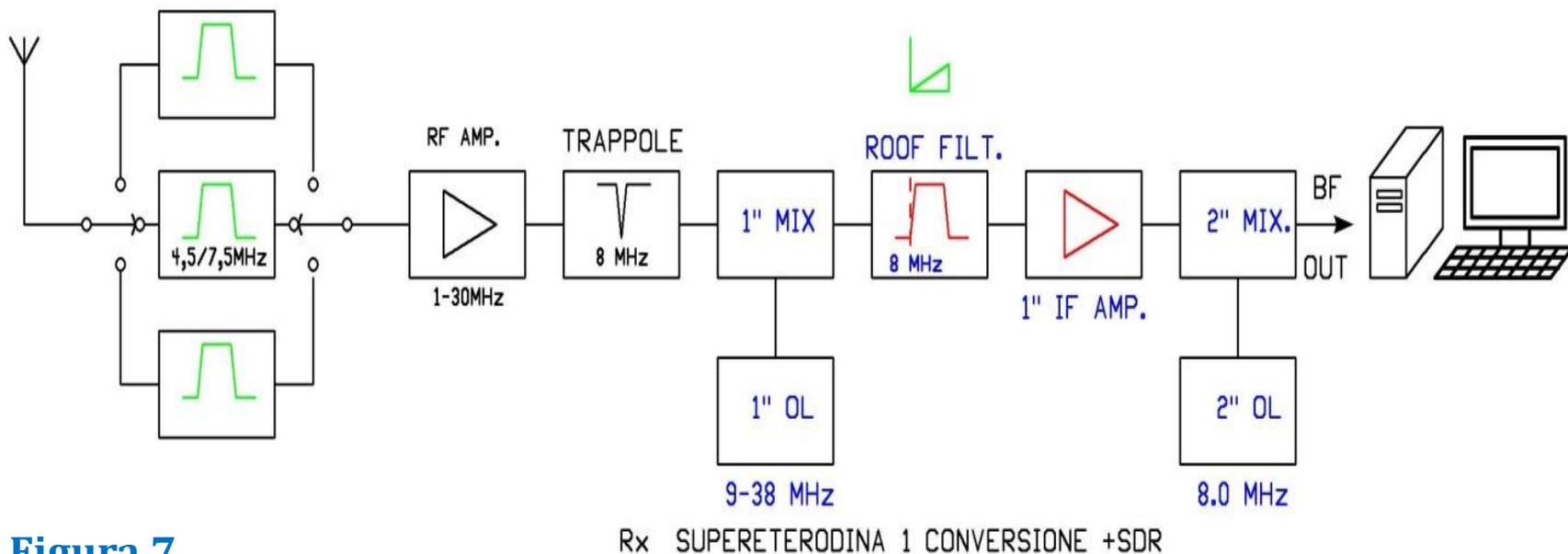
La configurazione di figura 5 presenta però un problema. Un segnale di 8 MHz che arriva in antenna passa diretto attraverso il filtro d'antenna, il mixer, il filtro a quarzo di IF, viene amplificato dall'amplificatore IF ed infine rivelato dal DSP, producendo quindi una fastidiosissima interferenza sul segnale che stiamo ricevendo.

Per eliminare questo problema è necessario introdurre prima del mixer un filtro **stoppa banda** che blocchi i segnali a 8 MHz. Questi filtri, detti anche **trappole**, hanno una larghezza di banda di circa 600 KHz (dipende da come sono costruiti) e di conseguenza rendono **“sordo”** il ricevitore nell'intervallo di  $\pm 300$  KHz intorno al valore della frequenza IF. Per gli RTx destinati al traffico amatoriale questo non è un problema, perché per valori di IF compresi

tra 8 e 9 MHz, la zona **sorda** cade fuori delle bande amatoriali. L'RTx Elecraft K3 è realizzato secondo lo schema di figura 5. Il Kenwood TS 590, per le bande amatoriali adotta lo schema di figura 5, mentre per le altre bande adotta lo schema di figura 4.

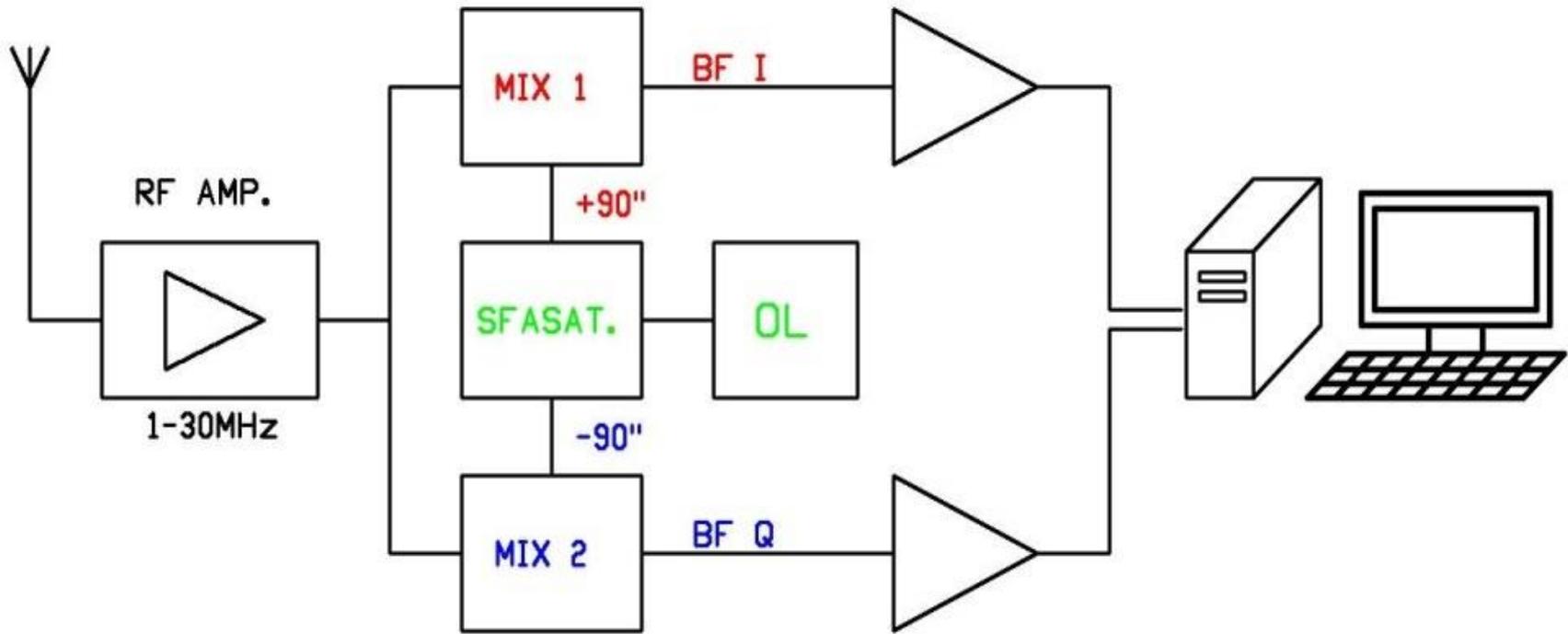
## Ricevitori SDR (**S**oftware **D**efined **R**adio)

Abbiamo visto che all'interno dei PC esiste una scheda audio stereo detta **Sound Blaster** che contiene un DSP di medie o alte prestazioni. Se vogliamo ulteriormente semplificare un Ricevitore, dallo schema di figura 5, possiamo togliere il blocco DSP ed inviare la BF direttamente al PC. In questo caso dovremo installare sul PC un apposito programma che esegua tutte le operazioni necessarie per un corretto funzionamento del Ricevitore.



**Figura 7**

Ma se al PC dobbiamo fornire soltanto la BF e poi sarà il **Software installato** a stabilire le caratteristiche del ricevitore, tutta la parte ricevente vera e propria può essere vantaggiosamente sostituita da un Rx a conversione diretta con sistema di selezione della banda a sfasamento (USB/LSB).



Rx CONVERSIONE DIRETTA I Q SDR

## Figura 8

Quello di figura 8 è lo schema di principio di tutti ricevitori SDR ed è stato **sviluppato per la telefonia cellulare**. Presenta molti vantaggi di costo e di affidabilità, ma ha lo svantaggio di funzionare solo in congiunzione con un PC.

# Ricevitori digitali

Il continuo sviluppo dell'elettronica digitale ha portato, negli ultimi anni, alla realizzazione di convertitori Analogico Digitali aventi una risoluzione di 16 bit ed una velocità di campionamento di 160 - 250 Ms/s (Mega Sampling al Secondo). Con questi convertitori, con opportuni amplificatori a basso rumore ed elevata IP3 e con un microcontrollore che gestisce il tutto, sarebbe possibile digitalizzare direttamente un segnale a RF con frequenza massima di 30 – 50 MHz e con un livello minimo di 0,25  $\mu$ V.

Attualmente, anche a causa dell'alto costo di questi convertitori (100 € ciascuno per 1000 pezzi), si utilizzano convertitori a 14 BIT 80 Ms/s (PERSEUS).

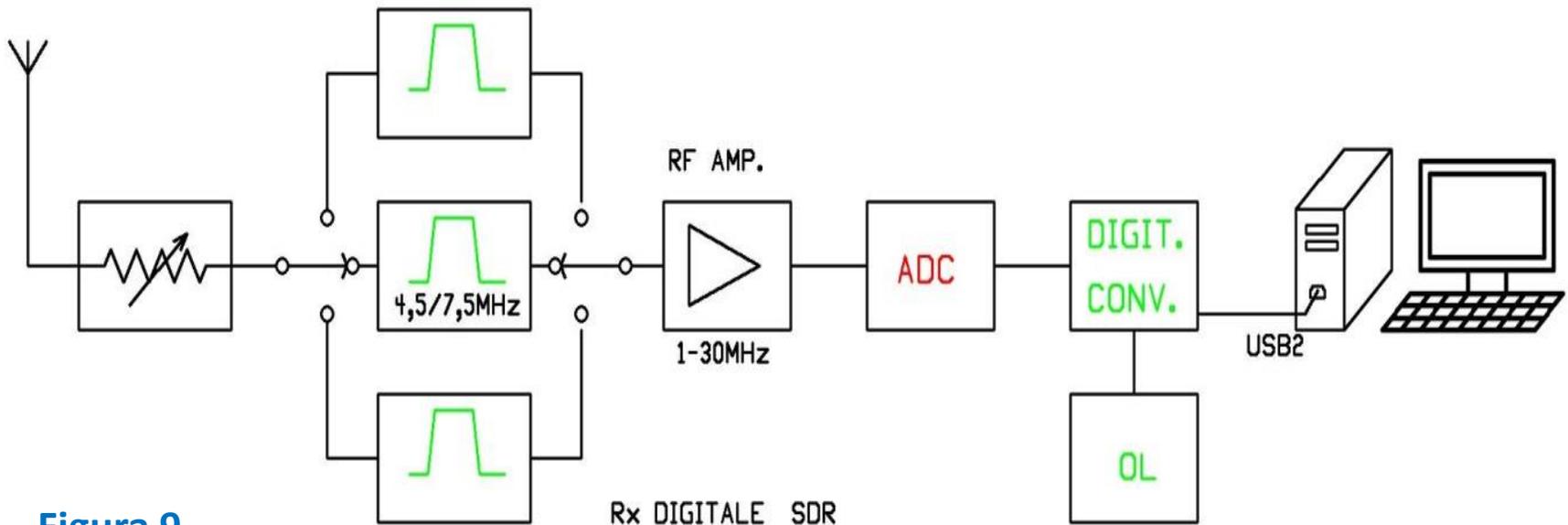


Figura 9

Il **segnale digitale** così ottenuto viene inviato ad un **convertitore di frequenza digitale** che lo converte ad un valore tale da poter essere inviato, via porta USB2.0, al PC per le elaborazioni del DSP

# Parametri di misura dei Ricevitori HF

Molti sono i parametri con i quali si tenta di stabilire le caratteristiche e la qualità di un ricevitore. Di seguito esamineremo quelli ritenuti comunemente i più importanti.

## Copertura in Frequenza

Indica il range di lavoro del ricevitore; di norma più è esteso e migliore è il ricevitore

## Modi di ricezione

SSB, CW, AM, S-AM, FMNB, etc. (Software Defined)

## Sensibilità e Noise Floor

La sensibilità indica la capacità del ricevitore di farci ascoltare i segnali deboli ed è correlata al rumore intrinseco del ricevitore (rumore generato all'interno del Rx).

Da studi fatti su campioni di ascoltatori, si è visto che mediamente **si riesce ancora a comprendere il significato di una trasmissione radio in SSB, quando il rapporto tra ampiezza del segnale + quella del rumore e l'ampiezza del solo rumore è di 3,16 a 1 ossia 10 dB.**

Esempio:

- In un ricevitore senza antenna, sintonizzato a 14,200 MHz USB con filtro a 2,7 KHz, regoliamo il volume per leggere sull'altoparlante un rumore di 1V.
- Ora applichiamo al suo ingresso, con un generatore a RF a basso rumore, un segnale a 14.201 MHz ad un livello di  $0,007\mu\text{V}$  ( -150dBm ) ed aumentiamo il suo livello sino a quando, senza variare il volume, leggeremo sul voltmetro un valore pari a 3,16V (1V del rumore +2,16V del segnale)

Avremo allora

$$20 \log (S+N) / N = 20 \log (2,16+1) / 1 = 20 \log 3,16 = 10 \text{ dB}$$

- Leggiamo sul generatore il livello del segnale e supponiamo che sia di  $0,1\mu\text{V}$  (-127 dBm), diremo allora che la **sensibilità in SSB di questo ricevitore è di  $0.1\mu\text{V}$**  e quindi, poiché il rumore è 10dB più basso, il **Noise Floor** è di -137dBm (31,6 nV).

La sensibilità di un ricevitore varia con il modo di ricezione e con la larghezza di banda dei filtri. **In CW con un filtro da 500 Hz migliora di circa 6 dB** e quindi nel nostro esempio sarebbe di -133 dBm ( $0,05\mu\text{V}$ )

## MDS (Minimum Discernible Signal)

Per convenzione è il segnale pari al livello del Noise Floor. Nell ricevitore del nostro esempio avremo:

$$\text{MDS} = -137\text{dBm} (31,6 \text{ nV}),$$

## Selettività

Indica la capacità del ricevitore di selezionare segnali vicini tra loro, ossia di quanti dB verranno attenuati i segnali distanti  $n$  KHz dalla portante.

Esempio:

Per il TS850 in SSB/CW vengono indicati valori di  
 $2,4\text{KHz}; -6\text{dB}$   $3,8\text{KHz}; -60\text{dB}$

## Reiezione dell'immagine

Indica, come abbiamo visto in precedenza, la capacità di attenuare (respingere) la frequenza immagine, ed è espressa in dB. Di norma  $\geq -60$  dB

## Range Dinamico (IMD3)

E' espresso in dB ed indica quanto, due segnali, fuori sintonia di 20KHz uno e di 40KHz l'altro, debbono essere più alti del Noise Floor per produrre un segnale di intermodulazione di ampiezza pari al NF stesso.

Esempio:

Se il Ricevitore del punto 3, sintonizzato a 14,200 MHz, con Noise Floor di -137 dBm, **ha un Range Dinamico di 104 dB** avremo che due segnali a 14,220MHz e 14,240MHz con livelli di -33 dBm

$$-137+104 = - 33 \text{ dBm} = (S9+40)$$

produrranno un segnale a 14,200 MHz (14,220\*2-14,240) pari al livello del Noise Floor.

Questo valore dipende principalmente dalla qualità del 1°mixer.

## IP3 in ingresso (Punto di intercetta di terzo ordine)

Abbiamo visto, che due segnali di ampiezza uguale al Range Dinamico – Noise Floor (-33dBm nell'esempio) producono un segnale indesiderato di ampiezza pari al Noise Floor, ma se i livelli saranno superiori, anche il livello del segnale di intermodulazione salirà rendendo il “disturbo” sempre più udibile. **Teoricamente, per ogni aumento di 1 dB dei segnali fuori sintonia, aumenta di 3 dB il segnale di intermodulazione “disturbante”.** Ad un certo punto, **sempre teoricamente**, accadrà che il segnale **D** prodotto dall'intermodulazione raggiungerà l'ampiezza dei segnali **S** fuori sintonia che lo generano. Il livello di questi tre segnali è detto **Punto di intercetta di terzo ordine.**

Una delle formule per calcolare IP3 è:

$$\text{IP3} = 1,5 * \text{IMD} + \text{MDS}$$

Nel nostro esempio avremo:

$$\text{IP3} = (1,5 * 104) + (-137) = 156 - 137 = +19 \text{ dBm}$$

Abbiamo detto teoricamente perché, nella realtà, se all'ingresso del ricevitore applicassimo due segnali di +19 dBm (2V !!) il ricevitore si saturerebbe (e si guasterebbe) molto prima e quindi il punto di intercetta non verrà mai raggiunto.

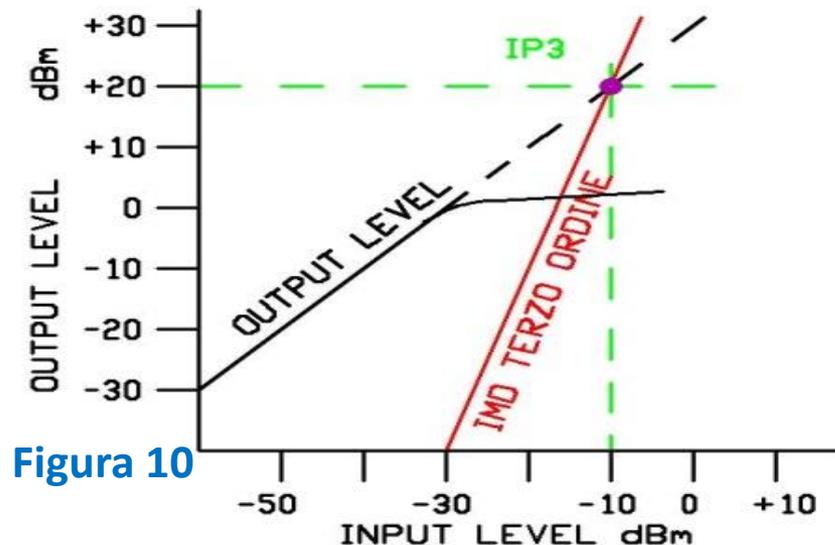


Figura 10

Il grafico di figura 10 è riferito ad un amplificatore con un guadagno di 30 dB ed una IP3 di +20dBm.

Nei ricevitori, più è alto il livello di IP3, più sono protetti dall'intermodulazione. Questo valore dipende dalla qualità del 1° mixer nonché dalla larghezza di banda e dal fattore di forma del 1° filtro detto **ROOFIG FILTER**.

Ricevitori con valori di **IP3  $\geq$  +25 dBm** sono ricevitori che non presentano problemi di intermodulazione.