

La banda passante ottimale del ricevitore è fissata da considerazioni estranee al ricevitore stesso, ma legate al tipo di modulazione che si intende ricevere.

CW		SSB	AM	FM
1 wpm	10 wpm			
10 Hz	100 Hz	3 kHz	6 kHz	$2 \delta + 2 f_m$

**Larghezze di banda approssimative per vari tipi di modulazione. Per la FM,  $\delta$  è la deviazione e  $f_m$  è la massima frequenza modulante.**

Siccome il rumore, a parità di altre condizioni, è proporzionale alla banda di rumore ricevuta (praticamente uguale alla banda passante  $\Delta f$ ), occorrerà limitare la banda passante del ricevitore  $\Delta f$  alla minima larghezza che consenta il transito del segnale modulato senza limitazioni o distorsioni, evitando così di aggiungere più rumore del necessario.

Il rumore, in un ricevitore ideale, posto a temperatura ambiente è dato da (in potenza riferita all'ingresso):

$$Pr = k T \Delta f$$

dove:  $k$  = costante di Boltzmann ( $k = 1.28 \cdot 10^{-23}$  J/K )

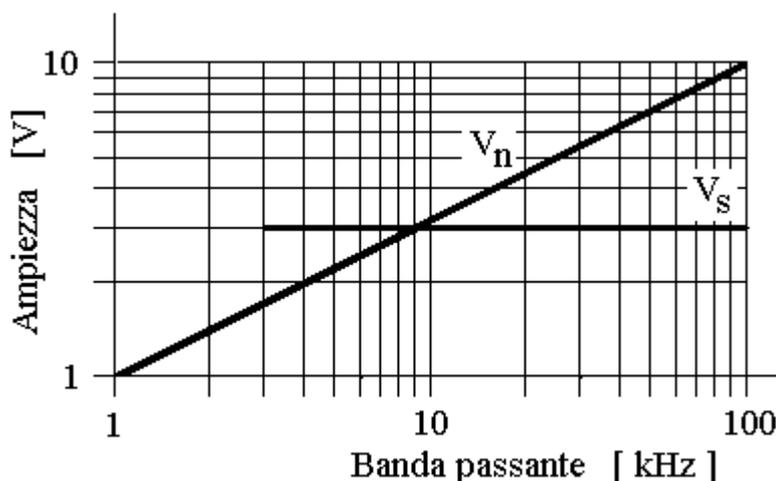
$T$  = temperatura del sistema ideale ( $T = 300$  K)

$\Delta f$  = banda passante del ricevitore [ Hz ]

Per ogni tipo di modulazione che si vuole ricevere si determinerà la sensibilità del ricevitore; più veloce è la trasmissione di informazione (con conseguente larghezza di banda elevata) minore sarà la sensibilità.

Con telegrafia lenta (CW) a 1 parola al minuto, per esempio, la potenza del segnale è concentrata in soli 10 Hz . Utilizzando una banda passante di soli 10 Hz acquisiamo tutto il segnale con il minimo di rumore; se usassimo, invece, un ricevitore con banda passante di 100 Hz non aumenteremmo il segnale (tutto concentrato in 10 Hz), ma aumenteremmo il rumore ricevuto di 10 dB con conseguente riduzione della sensibilità.

Il valore efficace del solo rumore è proporzionale a  $\sqrt{\Delta f}$ , mentre la tensione dovuta al segnale rimane costante al variare di  $\Delta f$ , purchè al di sopra della banda richiesta dal tipo di modulazione (3 kHz per segnali SSB).



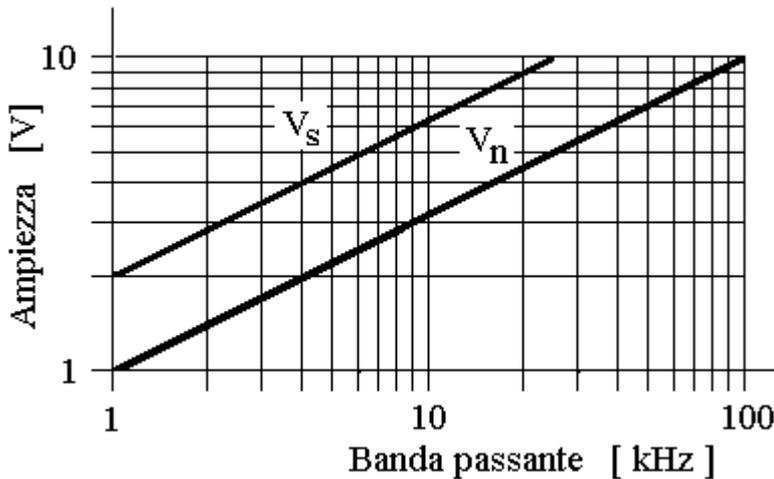
**Esempio di ampiezza del segnale di picco SSB ( $V_s$ ) e del rumore ( $V_n$ ), presi separatamente, all'ingresso del rivelatore in funzione della banda passante del ricevitore.**

Con  $\Delta f$  minima (3 kHz), il rapporto S/N, in tensione, è maggiore di 1, mentre per  $\Delta f$  maggiori (circa 10 kHz, in questo esempio), il rapporto S/N diviene minore di 1 ed il segnale non è più "ricevibile".

La radiazione ricevuta dalle sorgenti extraterrestri ha, quasi sempre, caratteristiche simili a quelle del rumore bianco; tale radiazione, cioè, è presente su una estesissima gamma di frequenze. In pratica, quindi, più sarà grande la larghezza di banda del ricevitore, maggiore sarà la radiazione ricevuta.

Il ricevitore è chiamato a distinguere il “rumore” della sorgente celeste (che, in questo caso, è il segnale da ricevere) dal rumore generato localmente.

Nella figura seguente osserviamo le ampiezze prima del rivelatore dovute alla radiazione ( $V_s$ ) e al rumore ( $V_n$ );



**Ricevitore per radioastronomia.**

Sia il “segnale” sia il rumore proprio del ricevitore hanno spettro “bianco”.

Il rapporto S/N prima del rivelatore è indipendente dalla banda passante del ricevitore.

Si nota che se il segnale da osservare ( $V_s$ ) è maggiore del rumore locale ( $V_n$ ), tale rapporto rimane invariato per qualunque valore di  $\Delta f$ . Sembrerebbe che il valore della banda passante  $\Delta f$  del ricevitore non sia importante per la migliore ricezione possibile; ciò non è vero perché, anche se il rapporto S/N **prima** del rivelatore non cambia al variare di  $\Delta f$ , cambia, invece, il rapporto S/N **dopo** il rivelatore; ed è proprio questo che lo sperimentatore avrà a disposizione per le sue valutazioni.

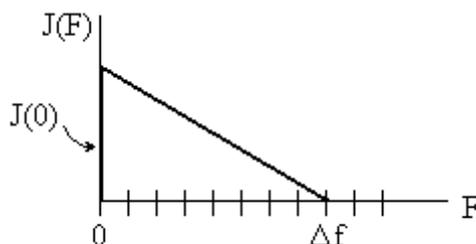
Seguendo Rice<sup>[1]</sup>, infatti, se l’ingresso di un rivelatore lineare è costituito da rumore “bianco” di densità spettrale  $J = \text{costante}$  in una banda  $\Delta f$ , lo spettro all’uscita del rivelatore (in BF, quindi) è dato da:

$$J(F) = a^2 \frac{J}{4\pi} \left(1 - \frac{F}{\Delta f}\right)$$

con componente continua  $I_{DC}$  data da :

$$I_{DC} = a \sqrt{\frac{J \Delta f}{2\pi}}$$

Lo spettro contiene componenti da frequenza zero sino ad una frequenza massima distante  $\Delta f$  con ampiezze decrescenti linearmente. Ovvero:



La potenza totale di rumore dopo il rivelatore è ottenuta integrando la  $J(f)$ ; si ha:

$$P_N = \frac{a^2 J \Delta f}{8 \pi}$$

Filtrando l'uscita, in una banda  $\Delta F$ , la potenza di rumore è (con  $\Delta F \ll \Delta f$ ):

$$P_N = \frac{a^2 J \Delta F}{4 \pi}$$

L'errore associato alla misura di  $I_{DC}^2$  (con  $\Delta F \ll \Delta f$ ) è:

$$\frac{P_N}{I_{DC}^2} = \frac{\frac{a^2 J \Delta F}{4 \pi}}{\frac{a^2 J \Delta f}{2 \pi}} = \frac{\Delta F}{2 \Delta f}$$

Essendo, poi

$$J = \frac{2 \pi I_{DC}^2}{a^2 \Delta f}$$

l'errore relativo,  $R(J)$ , associato alla misura della densità spettrale  $J$ , è legato all'errore relativo della grandezza  $I_{DC}^2$ .

In generale, se la funzione è del tipo  $A = b^n$ , l'errore relativo diviene:  $R(A) = (n^2 R(b)^2)^{1/2}$ .

In questo caso si ha:

$$R(J) = \sqrt{2^2 \frac{\Delta F}{2 \Delta f}} = \sqrt{2 \frac{\Delta F}{\Delta f}}$$

Conviene, quindi, avere una grande larghezza di banda  $\Delta f$  prima del rivelatore ed una piccola banda passante  $\Delta F$  dopo il rivelatore (ottenuta, per esempio, con una grande costante di tempo  $\tau$  di un circuito passa-basso). E', infatti:  $\Delta F = 1 / (2 \pi \tau)$ .

L'amplificazione  $g$  del ricevitore deve essere costante; la stabilità del ricevitore deve essere particolarmente curata, magari ricorrendo a forte controreazione e utilizzando alimentazioni stabilizzate.

In ogni caso un ricevitore reale amplificando il segnale introduce anche un rumore proprio; pertanto il rapporto S/N all'uscita del ricevitore sarà più basso (peggiolato) del rapporto S/N all'ingresso.

Il fattore di rumore, F, è il fattore per il quale il rapporto S/N, in potenza, si è deteriorato passando per il ricevitore.

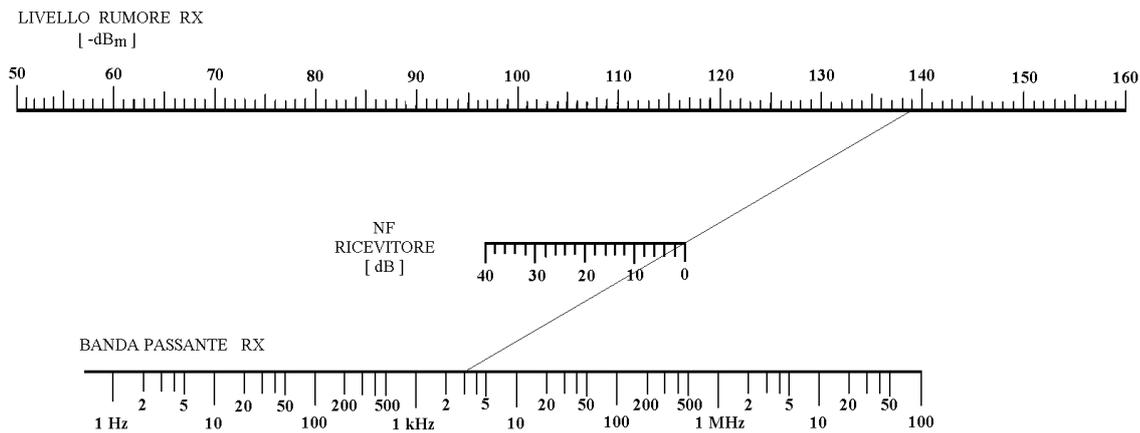
Si ha pertanto:

$$F = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_i}{\left(\frac{S}{N}\right)_o}$$

La cifra di rumore (noise figure), NF, è il fattore di rumore espresso in deciBel:

$$NF = 10 \text{ Log } F \quad [\text{dB}]$$

Il ricevitore reale, introducendo un rumore addizionale, può essere visto come se il suo stadio di ingresso lavorasse ad una temperatura più elevata.



**Nomogramma per il calcolo del livello di rumore (riportato all'ingresso del ricevitore), a temperatura ambiente, in funzione della banda passante e della figura di rumore del ricevitore stesso.**

**Nell'esempio si riporta il livello di rumore di un ricevitore ideale (NF = 0 dB) per una banda passante di 3 kHz (segnale SSB). La sensibilità del ricevitore è in relazione al livello di rumore che, in questo esempio, è di -139 dBm .**