

## SENSIBILITÀ DI UN RICEVITORE NEL FUNZIONAMENTO A SINGOLA E DOPPIA RICEZIONE. (18-07-2015)

Il segnale minimo che un ricevitore è in grado di rivelare dipende dal valore minimo del rapporto fra la potenza di segnale e la potenza di rumore (rapporto segnale-rumore minimo) che il demodulatore accetta al suo ingresso per operare correttamente.

Il rapporto segnale/rumore minimo dipende dal tipo di modulazione e per ogni tipo di modulazione, dal tipo di demodulatore.

La parte di un ricevitore che precede il demodulatore può essere schematizzato nel modo più semplice come un amplificatore alla cui uscita troviamo il segnale ed il rumore provenienti dall'antenna amplificati ed il rumore generato all'interno dell'amplificatore stesso.

(In realtà quello che schematizzeremo come un amplificatore è composto da amplificatori, convertitori di frequenza e filtri. Nonostante questo, l'analisi che faremo non perde di generalità.)

L'analisi che faremo considera solo il rumore presente in ingresso al ricevitore dovuto all'impedenza presentata dall'antenna e quello prodotto dai circuiti elettronici che compongono il ricevitore. Non considera il QRM proveniente mediante l'antenna dall'ambiente esterno. Quindi quando si parla di sensibilità si fa riferimento alla sensibilità strumentale, cioè alla sensibilità che si misurerebbe in laboratorio mediante i metodi descritti nei testi di misure radioelettroniche.

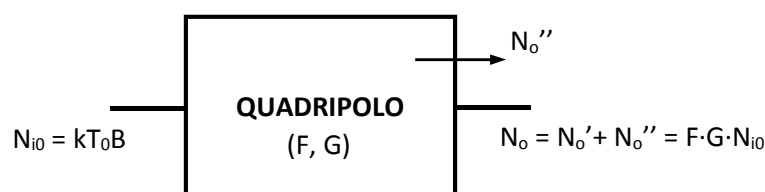
### Premessa sul rumore.

La potenza di rumore fornita da una impedenza equivalente a quella mostrata dall'antenna al ricevitore in condizioni di adattamento (ROS d'antenna prossimo ad 1:1) è data dal prodotto  $k \cdot T_0 \cdot B$ , con  $k$  costante di Boltzmann ( $k=1,3806488 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ ),  $T_0$  temperatura espressa in gradi Kelvin (°K) dell'impedenza (idealmente resistiva) e  $B$  banda del ricevitore espressa in Hz. Nel seguito il prodotto precedente sarà indicato per semplicità con  $N_{i0}$ .

La potenza di rumore in uscita da un quadripolo (come un amplificatore, un filtro, un attenuatore) è maggiore di quella che ci possiamo aspettare dal prodotto della potenza di rumore in ingresso per il guadagno (oppure l'attenuazione) in potenza del quadripolo in quanto a questa potenza si somma quella generata internamente allo stesso quadripolo.

Per tenere conto di questo fenomeno si introduce un parametro detto "cifra di rumore"  $F$ . La cifra di rumore è una caratteristica del quadripolo, come una caratteristica del quadripolo è il guadagno  $G$ .

La cifra di rumore di un quadripolo è il rapporto fra la potenza di rumore in uscita dal quadripolo e quella che avremmo se il quadripolo non introducesse rumore in più rispetto a quello ottenuto dalla potenza di rumore  $kT_0B$  applicata all'ingresso. Per come è definita, la cifra di rumore è un numero maggiore di 1.



In figura è rappresentato un quadripolo caratterizzato da una cifra di rumore  $F$  e da un guadagno  $G$ , alimentato da una potenza di rumore  $N_{i0} = k \cdot T_0 \cdot B$ . La potenza di rumore in uscita  $N_o$  è uguale alla somma di due contributi  $N_o'$  ed  $N_o''$ , il primo relativo al rumore in ingresso, amplificato dal quadripolo come se fosse

segnale, il secondo prodotto dal quadripolo stesso. La stessa potenza di rumore  $N_o$ , per come è definita la cifra di rumore  $F$ , è uguale al prodotto  $FGN_{i0}$ .

In formule:

$$N_o = N_o' + N_o'' = GN_{i0} + N_o'' = F \cdot G \cdot N_{i0}$$

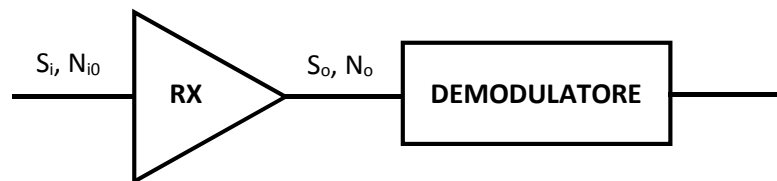
Dalla precedente si ricava

$$N_o'' = G \cdot N_{i0} \cdot (F-1)$$

che consente di calcolare, nota la cifra di rumore ed il guadagno del quadripolo, il contributo di rumore dovuto al quadripolo stesso.

Nel caso in cui il quadripolo sia passivo, con perdite, si può dimostrare che la cifra di rumore  $F$  è uguale alla sua attenuazione  $A$ , intesa come rapporto fra la potenza applicata al suo ingresso e la potenza presente alla sua uscita, ovvero al reciproco del guadagno  $G$  considerato nelle formule precedenti. La potenza di rumore alla sua uscita risulta  $N_o = F \cdot G \cdot N_{i0} = (1/G) \cdot G \cdot N_{i0} = N_{i0}$ , ovvero nel caso di un quadripolo passivo, con perdite, alimentato da una potenza di rumore pari a  $N_{i0} = k \cdot T_0 \cdot B$  la potenza di rumore disponibile alla sua uscita è sempre  $N_{i0} = k \cdot T_0 \cdot B$ , nonostante le caratteristiche di attenuazione del quadripolo stesso.

Caso 1: ricevitore singolo.



$S_i$  – potenza del segnale all’ingresso del ricevitore;

$N_{i0} = kT_0B$  – potenza del rumore all’ingresso del ricevitore;

$S_o$  – potenza del segnale all’ingresso del demodulatore;

$N_o$  – potenza del rumore all’ingresso del demodulatore;

In formule:

$$S_o = S_i \cdot G$$

$$N_o = N_{i0} \cdot G + N_{i0} \cdot G \cdot (F-1) = N_{i0} \cdot G \cdot F$$

dove  $G$  è il guadagno del ricevitore fino al demodulatore ed  $F$  la sua cifra di rumore. Il rapporto segnale-rumore in ingresso al demodulatore risulta:

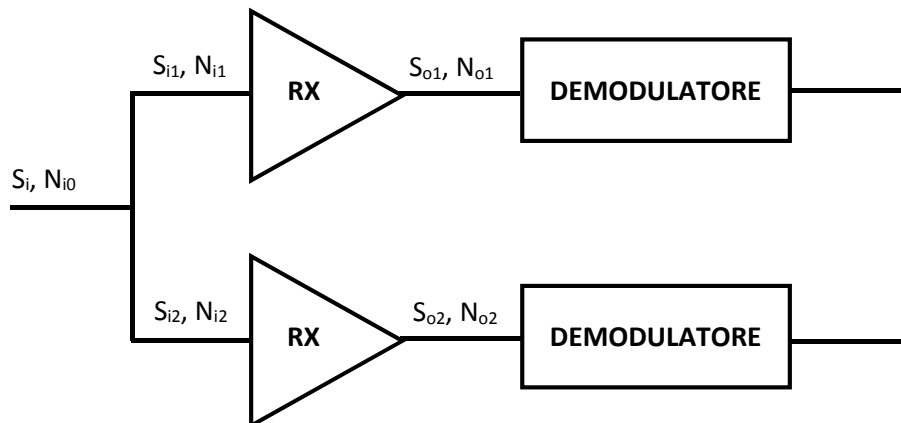
$$S_o/N_o = S_i/(N_{i0} \cdot F) \quad (1)$$

Il ricevitore è in grado di rivelare tutti i segnali che forniscono all’ingresso al demodulatore un rapporto segnale-rumore  $S_o/N_o$  maggiore di un valore minimo che dipende dal tipo di modulazione e dal tipo di demodulatore.

La sensibilità si esprime come livello ( $\mu\text{Volt}$ ) del segnale in ingresso al ricevitore che corrisponde al valore minimo del rapporto  $S_o/N_o$  accettato dal demodulatore.

Caso 2: due ricevitori alimentati dalla stessa antenna.

Consideriamo il caso di un'antenna che alimenta due ricevitori mediante uno splitter posto fra l'antenna e i ricevitori.



Se lo splitter divide in parti uguali la potenza proveniente dall'antenna, la potenza in ingresso alle due catene riceventi è uguale a metà della potenza fornita dall'antenna. In formule:

$$S_{i1} = S_{i2} = S_i/2$$

Per il rumore questa regola non vale. Lo splitter si comporta per ciascun ricevitore come un quadripolo con perdite per cui la potenza di rumore in ingresso alle due catene è uguale alla potenza di rumore in ingresso allo splitter.

Indichiamo con:

$G_s$  – guadagno dello splitter;

$F_s$  – cifra di rumore dello splitter;

e come nel caso precedente, con:

$G$  – guadagno dei due ricevitori fino al demodulatore;

$F$  – cifra di rumore dei due ricevitori.

Passiamo alle formule.

Alle uscite dello splitter si ha:

$$S_{i1} = S_{i2} = S_i \cdot G_s$$

$$N_{i1} = N_{i2} = N_{i0} \cdot G_s \cdot F_s$$

In ingresso ai demodulatori invece abbiamo:

$$S_{o1} = S_{o2} = S_i \cdot G_s \cdot G$$

$$N_{o1} = N_{o2} = N_{i0} \cdot G_s \cdot F_s \cdot G + N_{i0} \cdot G \cdot (F-1) = N_{i0} \cdot G \cdot F$$

Per arrivare alla espressione finale dell'ultima formula è stato tenuto conto che lo splitter dal punto di vista del rumore può essere considerato come un quadripolo con perdite per cui risulta  $F_s = 1/G_s$ , o in altri termini  $G_s \cdot F_s = 1$ .

In questo caso il rapporto segnale-rumore in ingresso ai due demodulatori risulta:

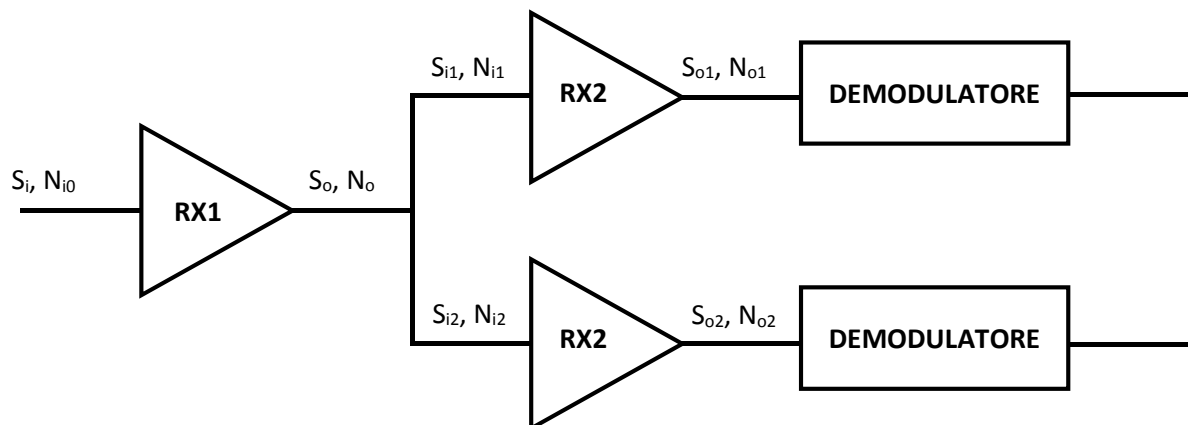
$$S_{o1}/N_{o1} = S_{o2}/N_{o2} = S_i \cdot G_s / (N_{i0} \cdot F) \quad (2)$$

Ma  $G_s = 0,5$  (lo splitter divide il segnale al suo ingresso in parti uguali sulle due uscite) quindi il rapporto segnale-rumore all'ingresso dei due demodulatori è uguale a metà rispetto a quello trovato nel caso precedente, come si vede confrontando il risultato della formula (2) con quello della (1).

Pertanto in questo caso per raggiungere la soglia di funzionamento del demodulatore è necessario che l'antenna rispetto al caso precedente fornisca una potenza doppia. Nell'ipotesi di utilizzare ricevitori con le stesse caratteristiche, la sensibilità della configurazione a doppio ricevitore con lo splitter posto direttamente all'uscita dell'antenna risulta peggiore di 3dB in potenza ( $\sqrt{2}$  in tensione) rispetto alla configurazione a singolo ricevitore.

### Caso 3: ricevitore singolo a doppio canale.

Consideriamo un ricevitore singolo al cui interno, dopo una prima amplificazione ed eventuale filtraggio, il segnale sia suddiviso su due canali separati.



Per semplificare il confronto con i casi precedenti facciamo l'ipotesi che la catena che si ottiene ponendo in cascata le due catene RX1 ed RX2 abbia lo stesso guadagno  $G$  e la stessa cifra di rumore  $F$  di quella considerata in quei casi.

Con riferimento allo schema di figura, se all'ingresso delle due catene RX2 il rapporto segnale-rumore risulta uguale a quello all'ingresso al ricevitore perché lo splitter agisce, in prima approssimazione, nello stesso modo sul segnale e sul rumore possiamo pensare che la sensibilità del ricevitore singolo a doppio canale non risulti penalizzata come nel caso 2 dalla presenza dello splitter.

Facciamo ancora ricorso alle formule.

All'uscita della prima catena risulta:

$$S_o = S_i \cdot G_1$$

$$N_o = N_{i0} \cdot G_1 \cdot F_1$$

all'ingresso delle due catene in cascata allo splitter si ha:

$$S_{i1} = S_{i2} = S_o \cdot G_s = S_i \cdot G_1 \cdot G_s$$

$$N_{o1} = N_{o2} = N_o \cdot G_s + N_{i0} \cdot G_s \cdot (F_s - 1) = N_{i0} \cdot G_1 \cdot F_1 \cdot G_s + N_{i0} \cdot G_s \cdot (F_s - 1) = N_{i0} \cdot G_s \cdot [G_1 \cdot F_1 + (F_s - 1)]$$

Infine, all'ingresso del demodulatore si trova:

$$S_{o1} = S_{o2} = S_{i1} \cdot G_2 = S_i \cdot G_1 \cdot G_s \cdot G_2$$

$$N_{o1} = N_{o2} = N_{i1} \cdot G_2 + N_{i0} \cdot G_s \cdot (F_s - 1) \cdot G_2 = N_{i0} \cdot G_s \cdot [G_1 \cdot F_1 + (F_s - 1)] \cdot G_2 + N_{i0} \cdot G_2 \cdot (F_2 - 1) = N_{i0} \cdot G_1 \cdot G_s \cdot G_2 \cdot F_1 + N_{i0} \cdot G_s \cdot F_s \cdot G_2 - N_{i0} \cdot G_s \cdot G_2 + N_{i0} \cdot G_2 \cdot F_2 - N_{i0} \cdot G_2$$

Tenendo conto che  $G_s \cdot F_s = 1$  le due espressioni poste in evidenza possono elidersi, per cui risulta:

$$N_{o1} = N_{o2} = N_{i0} \cdot G_1 \cdot G_s \cdot G_2 \cdot F_1 - N_{i0} \cdot G_s \cdot G_2 + N_{i0} \cdot G_2 \cdot F_2 = N_{i0} \cdot G_1 \cdot G_s \cdot G_2 \cdot F_1 + N_{i0} \cdot G_2 \cdot (F_2 - G_s)$$

In definitiva il rapporto segnale-rumore in ingresso ai due demodulatori risulta:

$$S_{o1}/N_{o1} = S_{o2}/N_{o2} = S_i \cdot G_1 \cdot G_s \cdot G_2 / [N_{i0} \cdot G_1 \cdot G_s \cdot G_2 \cdot F_1 + N_{i0} \cdot G_2 \cdot (F_2 - G_s)] \quad (3)$$

Facendo il rapporto fra la (1) e questa si trova che la sensibilità (in potenza) del ricevitore a doppio canale risulta penalizzata rispetto a quella dello stesso ricevitore a singolo canale di un fattore pari a:

$$10 \cdot \text{Log} \{ [G_1 \cdot G_s \cdot G_2 \cdot F_1 + G_2 \cdot (F_2 - G_s)] / F \cdot G_1 \cdot G_s \cdot G_2 \} \quad \text{dB} \quad (4)$$

Imponendo  $G_1=1$ ,  $F_1=1$ ,  $G_2=G$  e  $F_2=F$  ricadiamo nel Caso 2. Sostituendo nella precedente troviamo:

$$10 \cdot \text{Log} \{ [G_1 \cdot G_s \cdot G_2 \cdot F_1 + G_2 \cdot (F_2 - G_s)] / F \cdot G_1 \cdot G_s \cdot G_2 \} = 10 \cdot \text{Log} \{ [G_s \cdot G + G \cdot (F - G_s)] / F \cdot G_s \cdot G \} = 10 \cdot \text{Log} (1/G_s) = 3\text{dB},$$

per  $G_s=0,5$ . Risultato a cui siamo giunti quando abbiamo considerato il Caso 2.

Per avere un'idea di come varia la penalizzazione della sensibilità del ricevitore al variare della posizione dello splitter la (4) è stata calcolata al variare della posizione dello splitter lungo la catena di un ricevitore avente un guadagno  $G$  dall'ingresso al demodulatore uguale a 80dB ed una cifra di rumore (comprensiva delle perdite dei circuiti d'ingresso) uguale a 4dB, circa. I risultati sono riassunti in tabella. Le altre ipotesi fatte sulla distribuzione dei guadagni e delle cifre di rumore per ciascuno degli 8 stadi in cui è stata suddivisa la catena sono riportate in figura. È una distribuzione abbastanza aderente alla realtà. In ogni caso le conclusioni a cui si giunge dai valori di tabella sono abbastanza indipendenti da come sono distribuiti i guadagni e le cifre di rumore.

G=	10	10	10	10	10	10	10	10	10	dB
F=	3,7	4	5	6	7	8	8	8	8	dB
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		

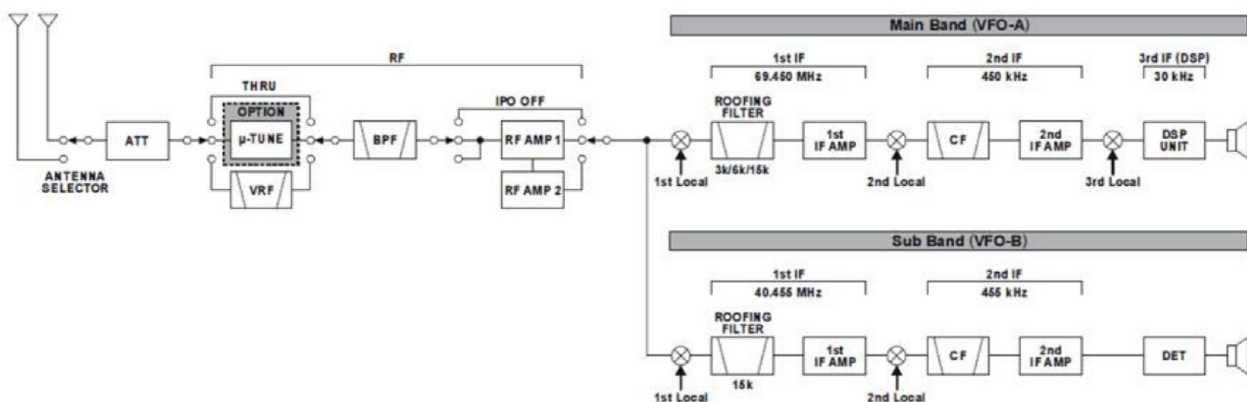
I dati della prima riga corrispondono al Caso 2, infatti la penalizzazione della sensibilità dei ricevitori è 3dB. Quelli delle altre righe corrispondono al Caso 3. Nelle prime due colonne sono i valori del guadagno  $G_1$  e della cifra di rumore  $F_1$  della catena a monte dello splitter, comune ai due canali di ricezione. Nelle due che seguono sono i valori del guadagno  $G_2$  e della cifra di rumore  $F_2$  delle catene a valle dello splitter e che

precedono i demodulatori. Nell'ultima colonna è riportata la penalizzazione in dB che si ha sulla sensibilità del ricevitore a doppio canale.

G1(dB)	F1(dB)	G2(dB)	F2(dB)	10·Log {.....}
0	0,00	80	4,02	3,00
10	3,70	70	4,51	0,46
20	3,97	60	6,14	0,07
30	4,01	50	10,19	0,02
40	4,02	40	7,48	0,00
50	4,02	30	8,38	0,00
60	4,02	20	8,35	0,00
70	4,02	10	8,00	0,00
80	4,02	0	0,00	0,00

Già con  $G_1=20\text{dB}$  la penalizzazione è trascurabile; con  $G_1=30\text{dB}$  la penalizzazione è nulla.

### Caso dell' FT2000



Come si vede dallo schema a blocchi semplificato riportato a pag. 50 del Manuale d'Uso della Yaesu, vediamo che per la modalità di doppia ricezione il segnale proveniente dall'antenna è splittato su due canali a valle dei circuiti d'ingresso, che comprendono un attenuatore, due filtri (di cui il primo selezionabile) e due amplificatori (anch'essi selezionabili). Selezionando AMP1 si inserisce un amplificatore avente un guadagno di 10dB, selezionando AMP2 un amplificatore a due stadi avente un guadagno di 17dB.

Le caratteristiche di sensibilità del ricevitore riportate nelle ultime pagine nel manuale sono valutate con l'amplificatore AMP2 selezionato, per cui si ricade nel precedente Caso 3. In definitiva sembra che, nella modalità di doppia ricezione le sensibilità delle due catene di ricezione non si discostino sostanzialmente dalla sensibilità delle catene in singola ricezione, senza splitter (ammesso che nella modalità a singola ricezione lo splitter sia effettivamente eliminato).

(Notare che i valori di sensibilità del ricevitore indicati nelle ultime pagine del manuale non tengono conto se il ricevitore è a singola o doppia ricezione. Questo mi fa pensare che nelle condizioni di misura, AMP2 selezionato, non ci sia differenza, come ipotizzato sopra.)