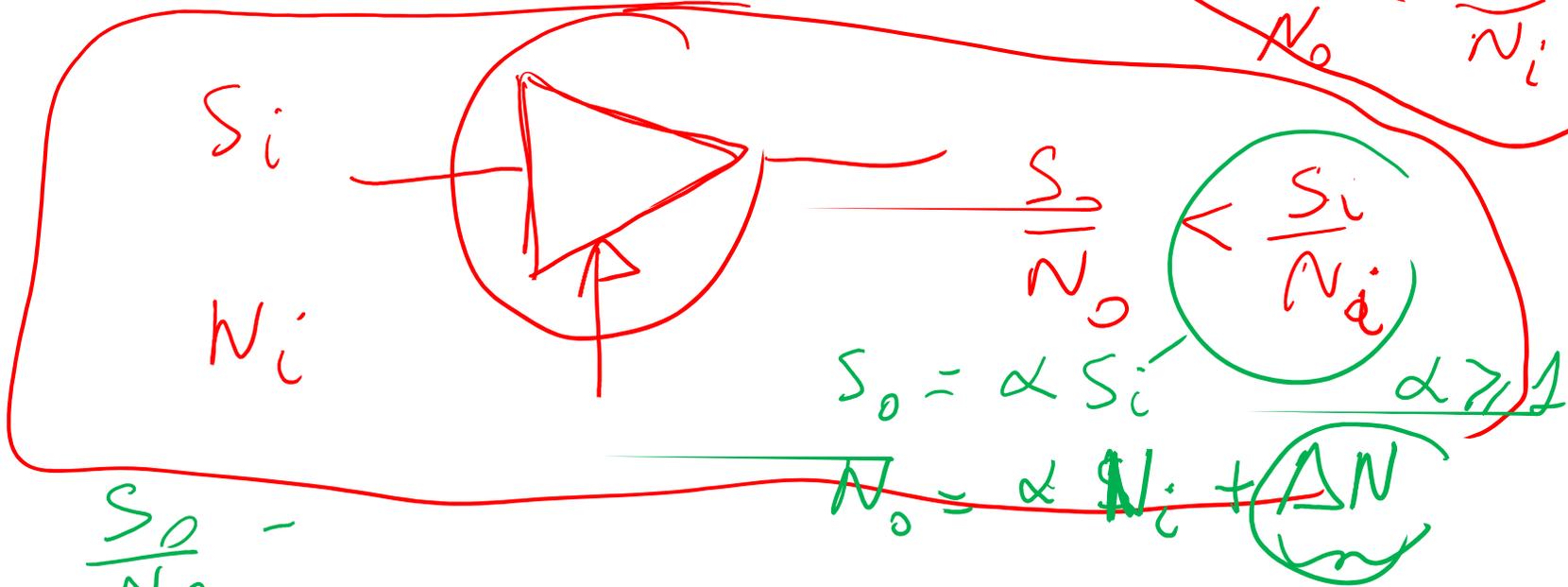


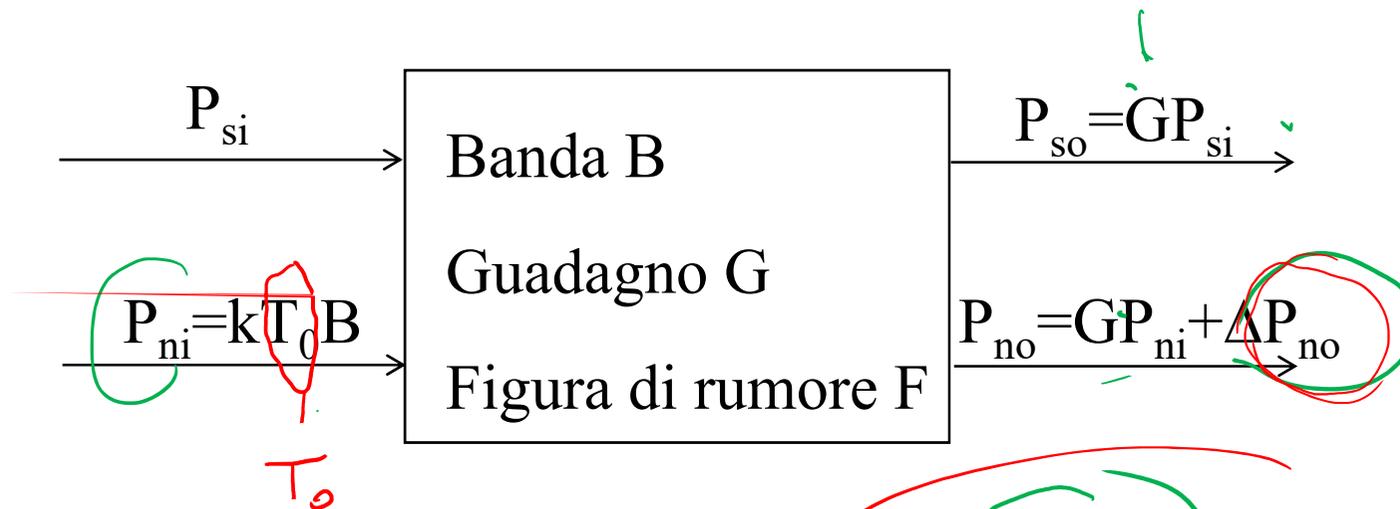


## Rumore termico



# Figura di Rumore (I)

- La **figura di rumore F** (Noise Figure) caratterizza la rumorosità di un dispositivo o di un sottosistema: in particolare misura la **degradazione del rapporto segnale/rumore tra ingresso e uscita** dovuta all'aggiunta del rumore generato dal dispositivo



$P_{si}$ : potenza segnale utile in ingresso;  
 $P_{ni}$ : potenza rumore in ingresso;  
 $P_{so}$ : potenza segnale utile in uscita;  
 $P_{no}$ : potenza rumore in uscita;

$$F = \frac{P_{si} / P_{ni}}{P_{so} / P_{no}}$$

**FIGURA DI RUMORE**

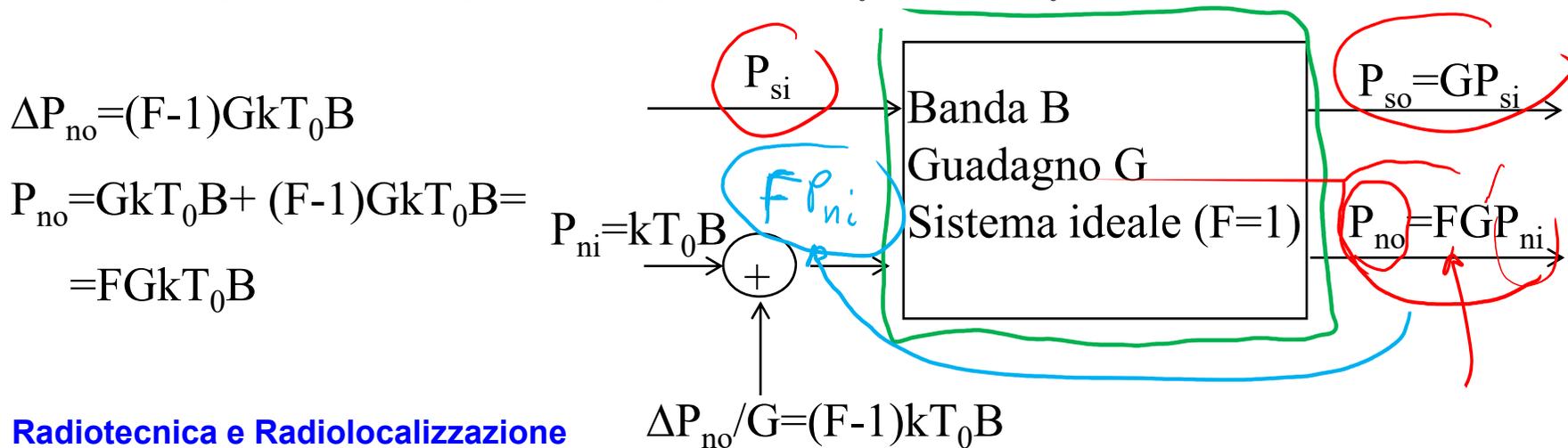
# Figura di Rumore (II)

- Figura di rumore definita con riferimento ad una specifica condizione in ingresso:
  - resistore adattato a temperatura  $T_0=290K$ :

$$\left. \begin{array}{l} P_{si} \\ P_{ni} = kT_0B \\ P_{so} = GP_{si} \\ P_{no} = GP_{ni} + \Delta P_0 \end{array} \right\} F = \frac{P_{si}}{P_{so}} \frac{P_{no}}{P_{ni}} = 1 + \frac{\Delta P_{no}}{GkT_0B}$$

- Figura di rumore sempre  $\geq 1$ ;
- Dispositivi ideali (non rumorosi:  $\Delta P_{no}$ )  $F=1$ ;

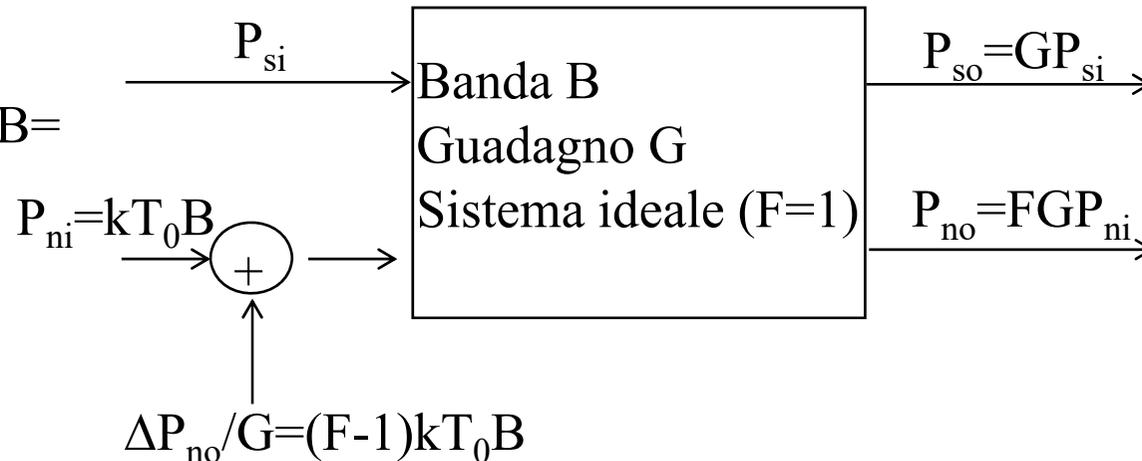
• Il dispositivo rumoroso è equivalente ad un dispositivo non rumoroso con in ingresso una sorgente a temperatura  $FT_0$  anziché  $T_0$ .



# Figura di Rumore (III)

$$\Delta P_{no} = (F-1)GkT_0B$$

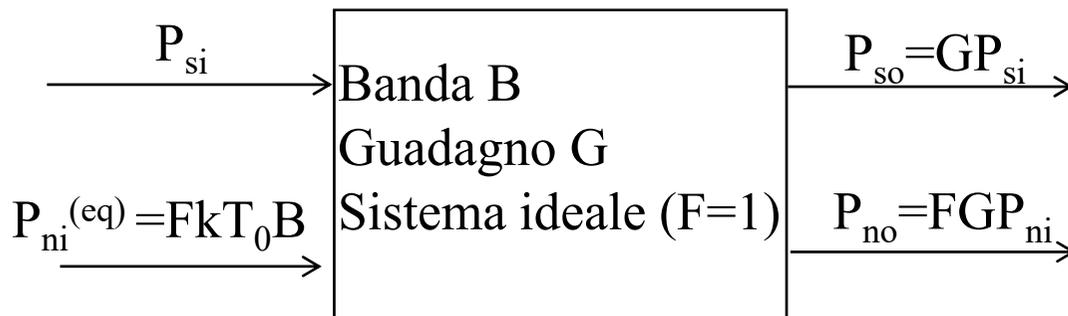
$$P_{no} = GkT_0B + (F-1)GkT_0B = FGkT_0B$$



• Il dispositivo rumoroso è equivalente ad un dispositivo non rumoroso con in ingresso una sorgente a temperatura  $FT_0$  anziché  $T_0$ .

$$P_{ni}^{(eq)} = FkT_0B$$

$$P_{no} = FGkT_0B$$



$$P_{ni} = k (T_0 + T_E) B$$

# Temperatura Equivalente di Rumore (I)

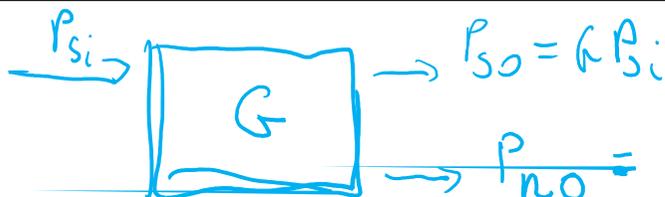
- La **temperatura equivalente di rumore**  $T_E$  (descrizione alternativa ad  $F$ ) caratterizza la rumorosità di un dispositivo o di un sottosistema: è la temperatura di un resistore adattato che, posto all'ingresso del dispositivo in esame assunto ideale, è in grado di produrre una potenza in uscita pari a  $\Delta P_{no}$ .

$$\Delta P_{no} = GkT_E B \Rightarrow T_E = \Delta P_{no} / GkB$$

$$P_{ni}^{eq} = FkT_0 B$$

$$P_{ni}^{eq} = k(T_0 + T_E) B$$

Per un dispositivo ideale (non rumoroso) si ha  $T_E = 0$ .



$$F T_0 = T_0 + T_E$$

$$(F-1) T_0 = T_E$$

$$T_E = (F-1) T_0$$

La relazione con la figura di rumore è data da

$$P_{ni}^{eq} = k (T_0 + T_E) B$$

$$T_0 + T_E$$

$$P_{no} = GkT_0 B + GkT_E B = Gk(T_0 + T_E) B$$

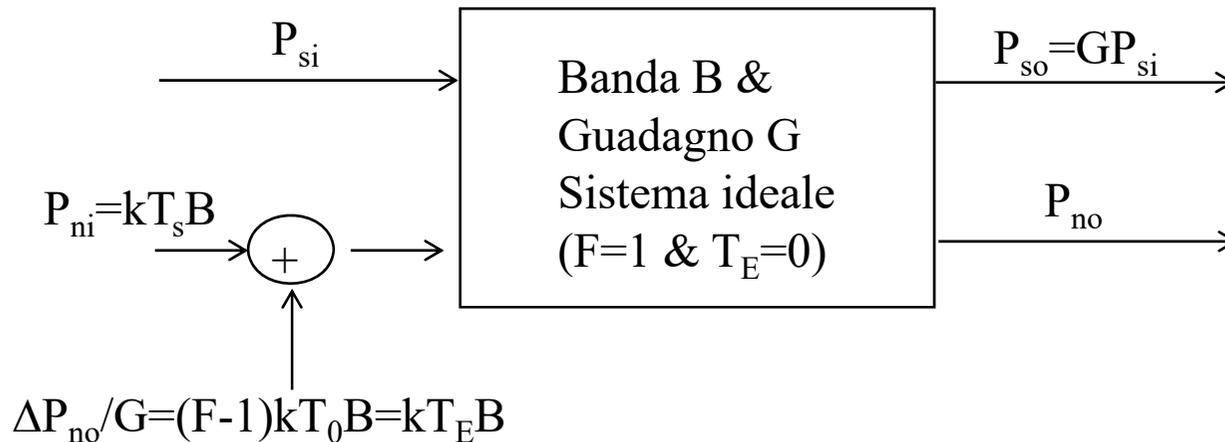
# Temperatura Equivalente di Rumore (II)

$$GkT_E B = Gk(F-1)T_0$$

- Se in ingresso al dispositivo sorgente a temperatura  $T_s$ :

$$P_{no} = GP_{ni} + \Delta P_{no} = GkT_s B + (F-1)kT_0 B = Gk(T_s + T_E) B$$

$$SNR_0 = \frac{P_{so}}{P_{no}} = \frac{SNR_i}{1 + (F-1)T_0/T_s} = \frac{SNR_i}{1 + T_E/T_s}$$

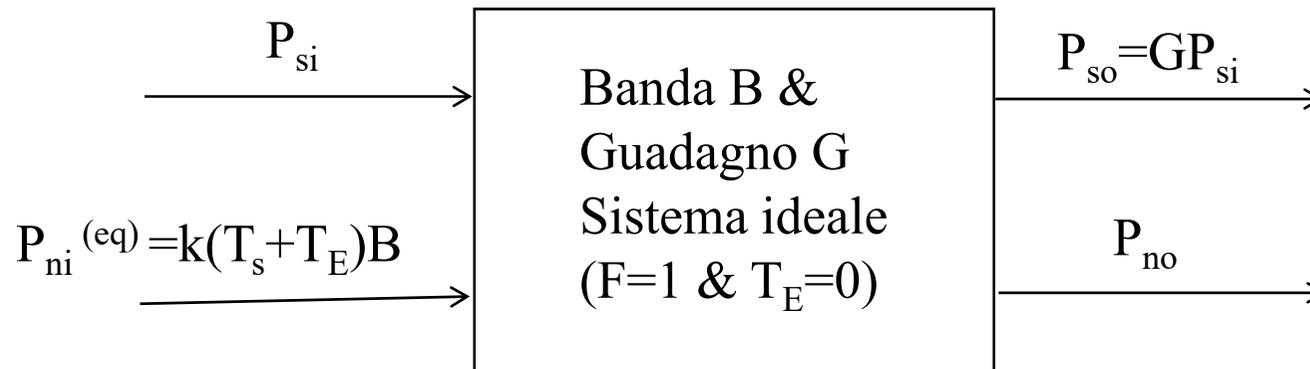


# Temperatura Equivalente di Rumore (III)

- Se in ingresso al dispositivo sorgente a temperatura  $T_s$ :

$$P_{no} = GP_{ni} + \Delta P_{no} = GkT_s B + (F - 1)kT_0 B = Gk(T_s + T_E)B$$

$$SNR_0 = \frac{P_{so}}{P_{no}} = \frac{SNR_i}{1 + (F - 1)T_0/T_s} = \frac{SNR_i}{1 + T_E/T_s}$$



# Rumore termico (IV)

~~F = L~~ è vero a T<sub>0</sub>

**Rumore prodotto da un attenuatore**

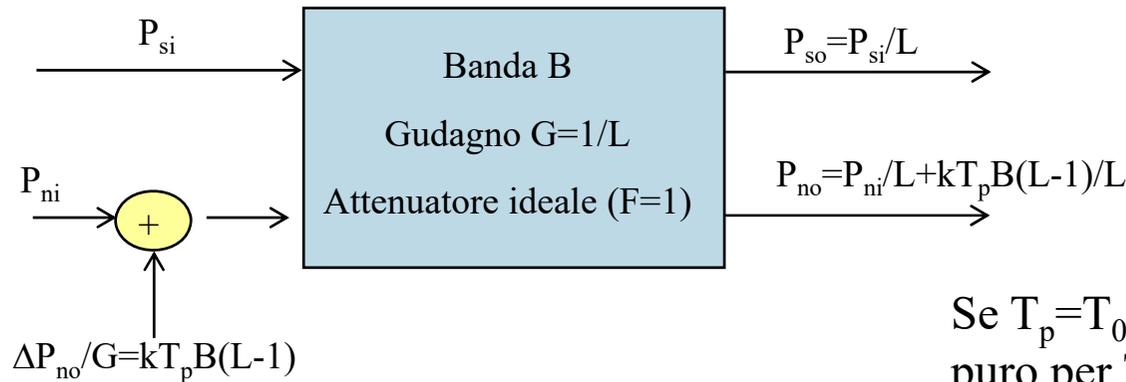
- Linee di trasmissione, giunti, giunti rotanti, duplexer sono attenuatori: se l'attenuatore è alla temperatura fisica T<sub>p</sub> ed è caratterizzato da un'attenuazione L (L=P<sub>si</sub>/P<sub>so</sub>, L>1)

$$\Delta P_{no} = kT_p B \left( \frac{L-1}{L} \right)$$



$$T_E = (L-1)T_p$$

$$F = 1 + (L-1) \frac{T_p}{T_0}$$

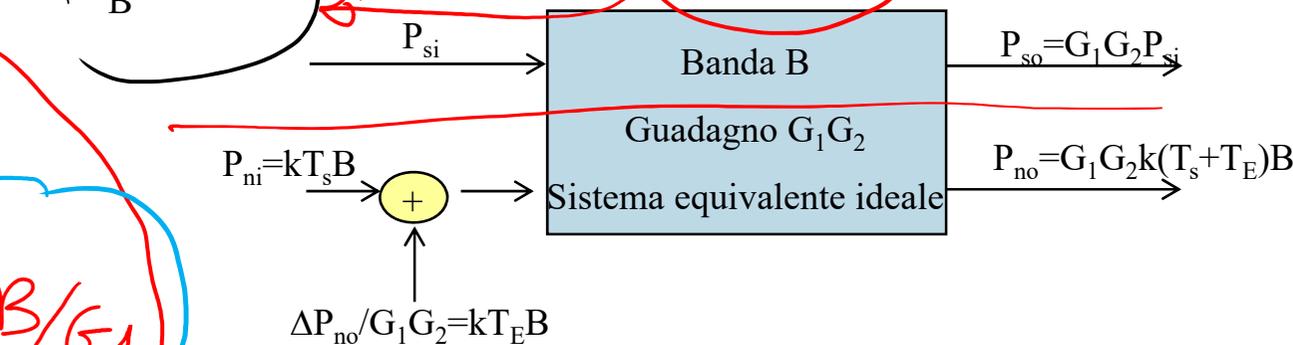
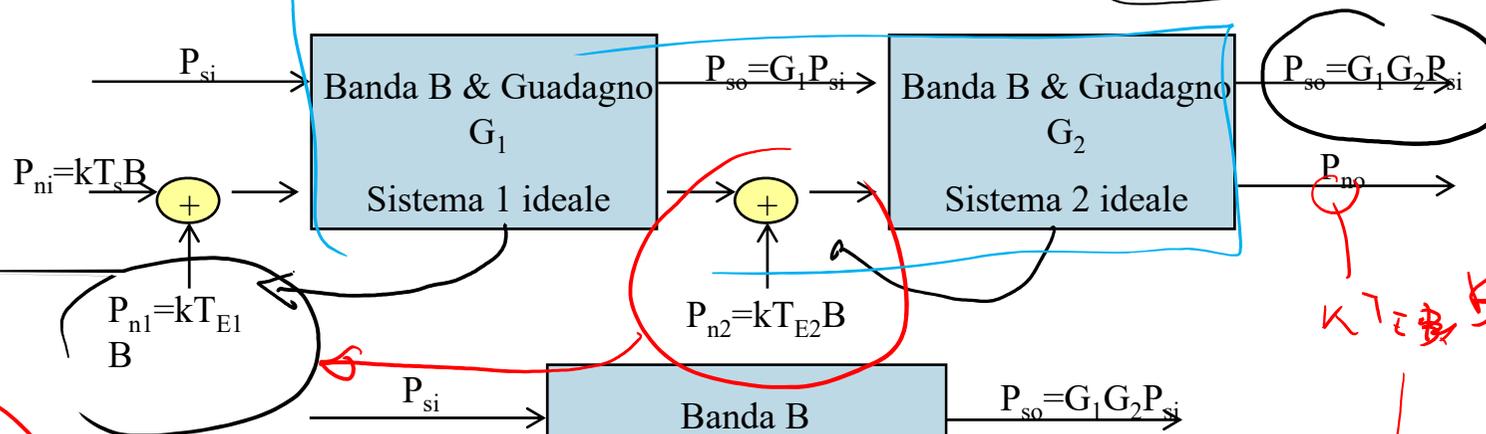
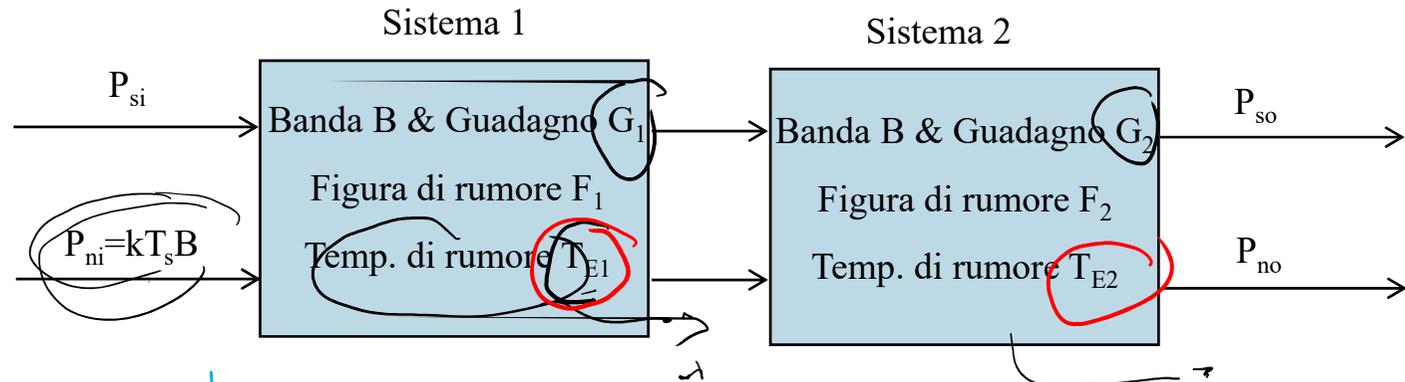


Se T<sub>p</sub>=T<sub>0</sub> ⇒ F=L: un attenuatore puro per T<sub>p</sub>=T<sub>0</sub> è trasparente al rumore cioè vede in ingresso e in uscita lo stesso rumore.

# Rumore termico (V)

$$k(T_{E1} + T_{E2}/G_1)B$$

Sottosistemi in cascata



$P_{ni} = kT_s B$   
 $P_{n2} = kT_{E1} B$   
 $P_{n2} = kT_{E2} B / G_1$

Radiotecnica e Radiolocalizzazione

~~TE~~

$$T_E = T_{E1} + \frac{T_{E2}}{G_1}$$

$$T_E = T_{E1} + \frac{T_{E2}}{G_1} + \frac{T_{E3}}{G_1 \cdot G_2} + \frac{T_{E4}}{G_1 \cdot G_2 \cdot G_3}$$



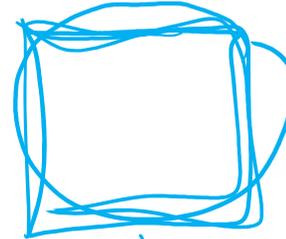
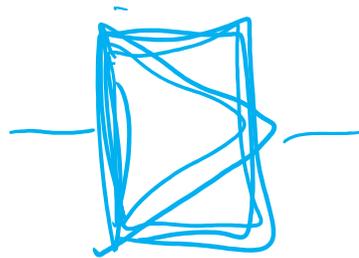
$$T_E = (F-1)T_0$$

$$(F-1)T_0 = (F_1-1)T_0 + \frac{(F_2-1)T_0}{G_1} + \frac{(F_3-1)T_0}{G_1 G_2} + \frac{(F_4-1)T_0}{G_1 G_2 G_3}$$

$$F = F_1 + \frac{F_2-1}{G_1} + \frac{F_3-1}{G_1 G_2} + \frac{F_4-1}{G_1 G_2 G_3}$$

bassa figura di rumore

$$T_E = T_{E1} + \frac{T_{E2}}{G_1} + \frac{T_{E3}}{G_1 G_2}$$



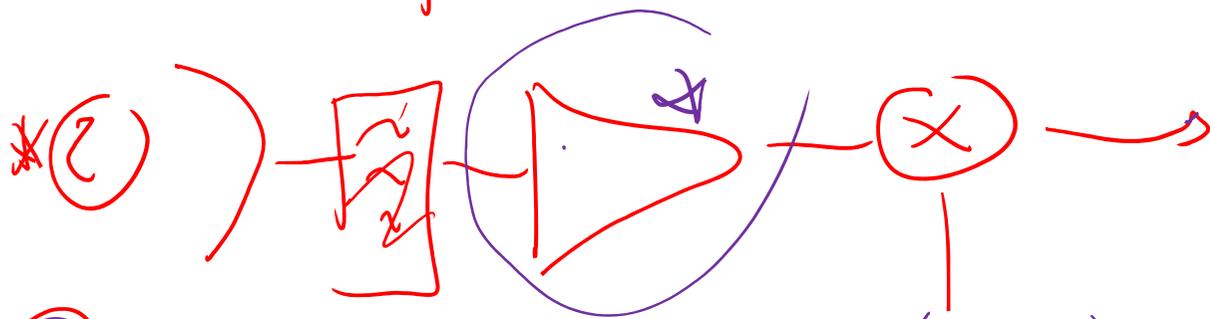
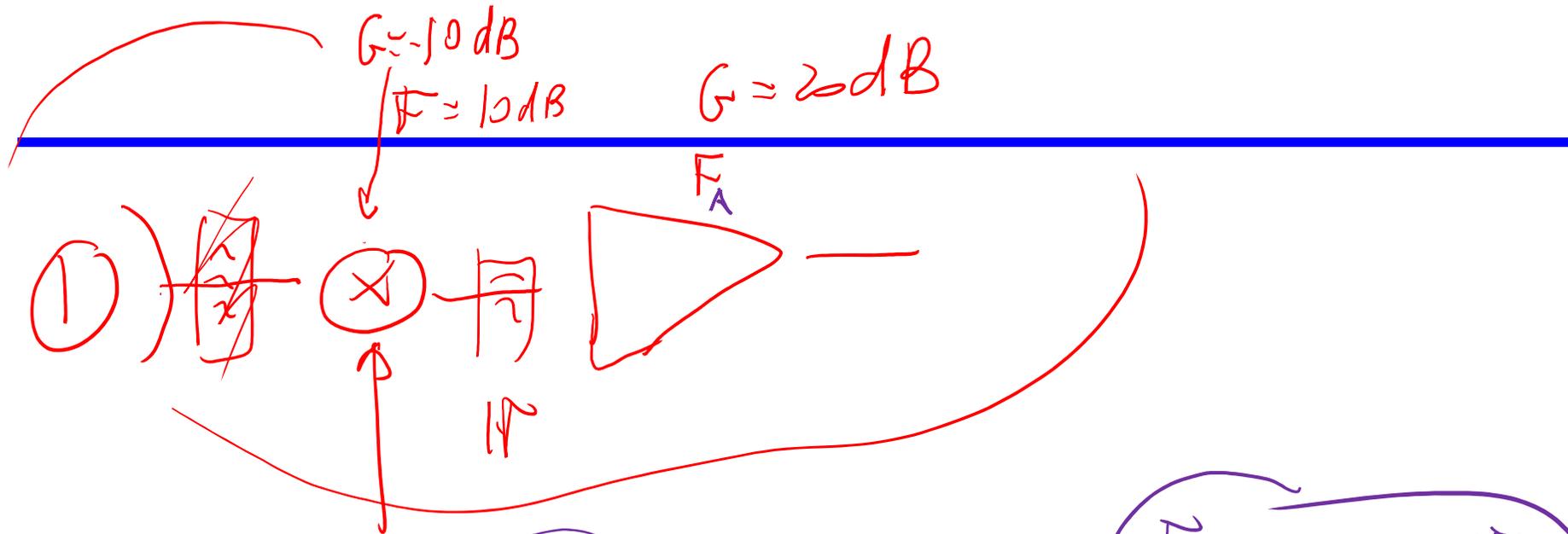
$$G_1 = 100$$



70K

$$+ \frac{T_{E2}}{0,8}$$

$$\begin{aligned} G &= 0,8 \\ L &= \frac{10}{8} = \frac{5}{4} \\ F &= \frac{5}{4} \\ T_{E1} &= \frac{T_0}{4} = \\ &= 70K \end{aligned}$$



$$[9 + 10(F_A - 1)]T_0$$

$$T_0 + 10(F_A - 1)T_0$$

$$\textcircled{1} \quad T_e = (10 - 1)T_0 + \frac{(F_A - 1)T_0}{\frac{1}{10}} =$$

$$\textcircled{2} \quad T_e = (F_A - 1)T_0 + \frac{(10 - 1)T_0}{100} = (F_A - 1)T_0 + \frac{9}{100}T_0$$

$$(F_A - 1 + \frac{9}{100})T_0$$







# Rumore termico (VI)

$F k T_0 B$  ←  $\approx$   $\frac{P_{no}}{k T_0 B}$   
 $* k (T_A + T_E) B$  ←  $\approx$   $\frac{P_{no}}{k T_0 B}$   
 $T_A \approx T_0$

$$P_{no} = G_1 G_2 k (T_s + T_{E1} + \frac{T_{E2}}{G_1}) B$$

$$P_{no} = G_1 G_2 (P_{ni} + \frac{\Delta P_{no}}{G_1 G_2}) = G_1 G_2 k (T_s + T_E) B$$

$$\Rightarrow k (T_A + (F-1)T_0) B = k F T_0 B + k B (T_A - T_0)$$

$$T_E = T_{E1} + \frac{T_{E2}}{G_1} \Rightarrow F = 1 + \frac{T_E}{T_0} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$



per  $T_A = 0$   
va a zero

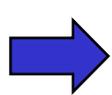
$$P_{no} = k (T_A + T_E) B$$

$$\hookrightarrow k [T_A + (F-1)T_0] B$$

Generalizzando al caso di N sottosistemi in cascata:

$$T_E = T_{E1} + \frac{T_{E2}}{G_1} + \frac{T_{E3}}{G_1 G_2} + \dots + \frac{T_{EN}}{G_1 G_2 \dots G_{N-1}}$$

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_N - 1}{G_1 G_2 \dots G_{N-1}}$$



Per sottosistemi in cascata il primo stadio è l'elemento critico: per contenere la rumorosità globale il primo stadio deve essere a bassa cifra di rumore e ad elevato guadagno.

# Caratterizzazione rumore

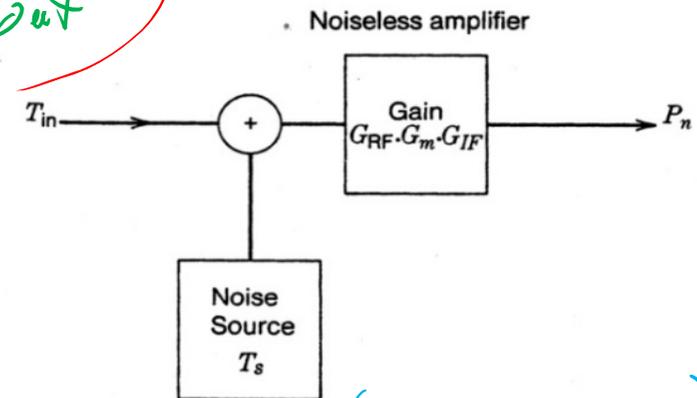
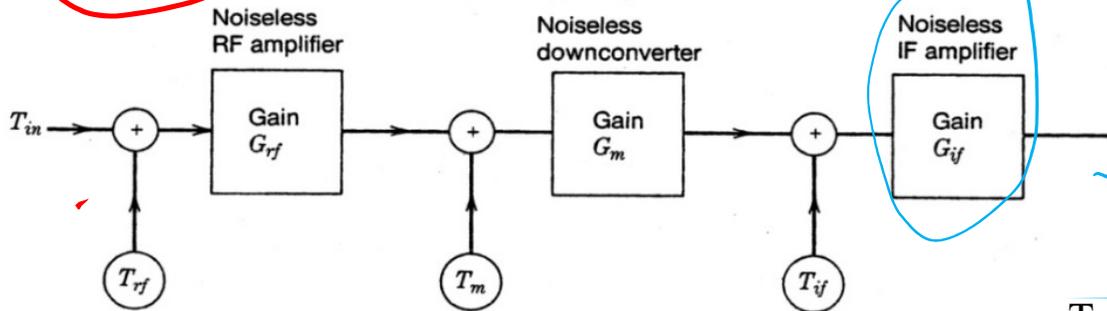
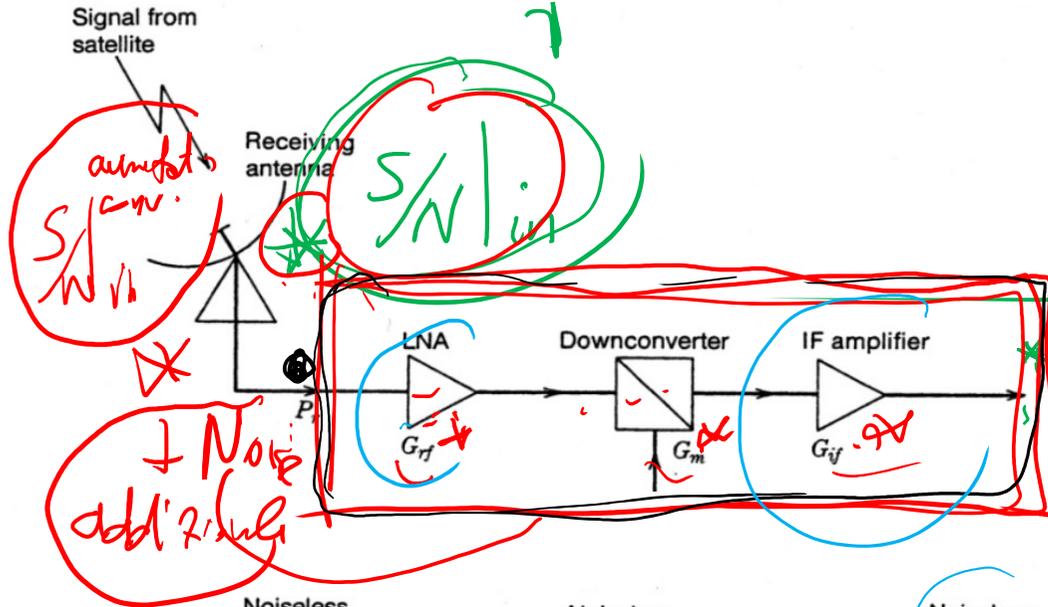
ESEMPIO: Valutazione temperatura di rumore di sistema

$T_{in} = 50 \text{ K}$

$T_{RF} = 50 \text{ K}, G_{RF} = 23 \text{ dB}$

$T_m = 500 \text{ K}, G_m = -10 \text{ dB}$

$T_{IF} = 1000 \text{ K}, G_{IF} = 30 \text{ dB}$



$T_A + T_E = T_A + (T_{E1} + \frac{T_{E2}}{G_1} + \frac{T_{E3}}{G_1 G_2})$

$T_s = 50 + 50 + \frac{500}{20} + \frac{1000}{20} = 152.5 \text{ K}$