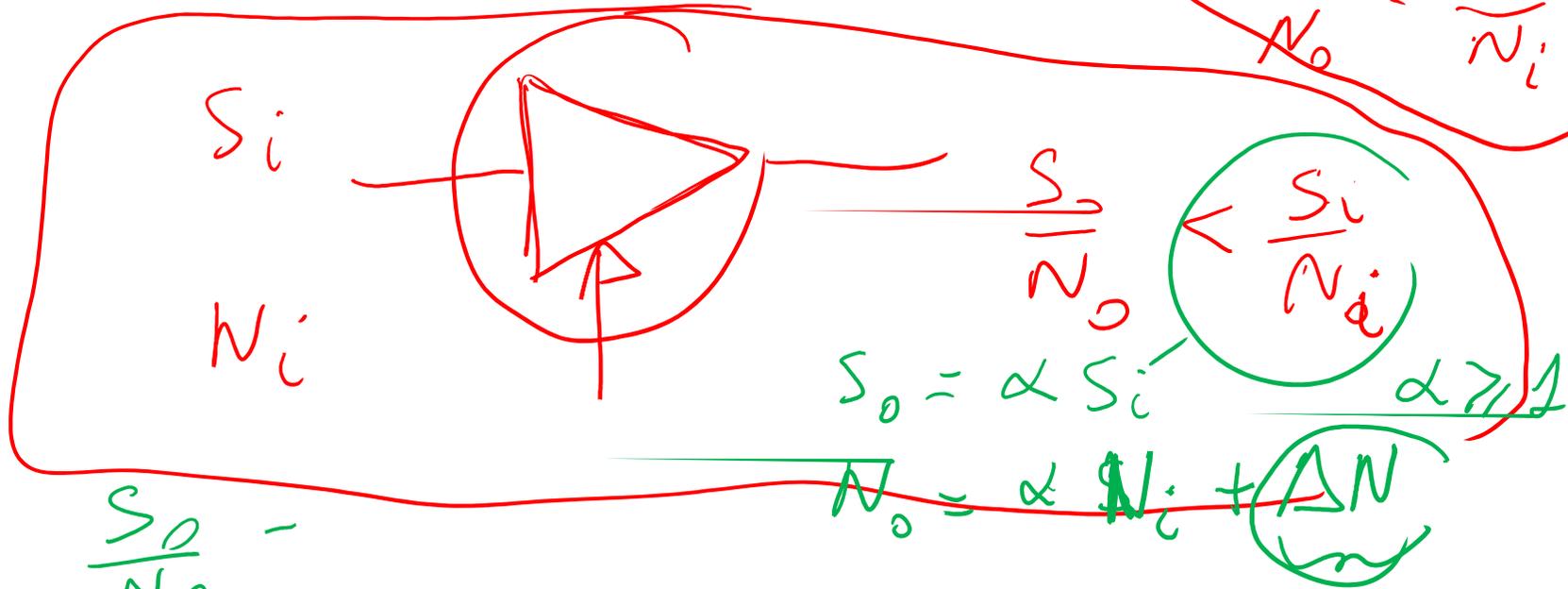


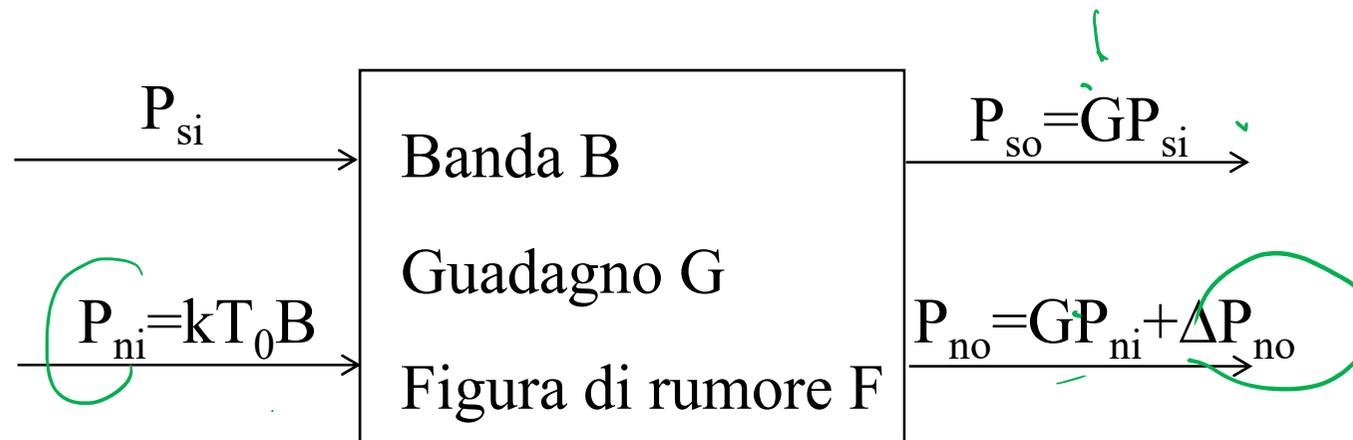


## Rumore termico



# 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**

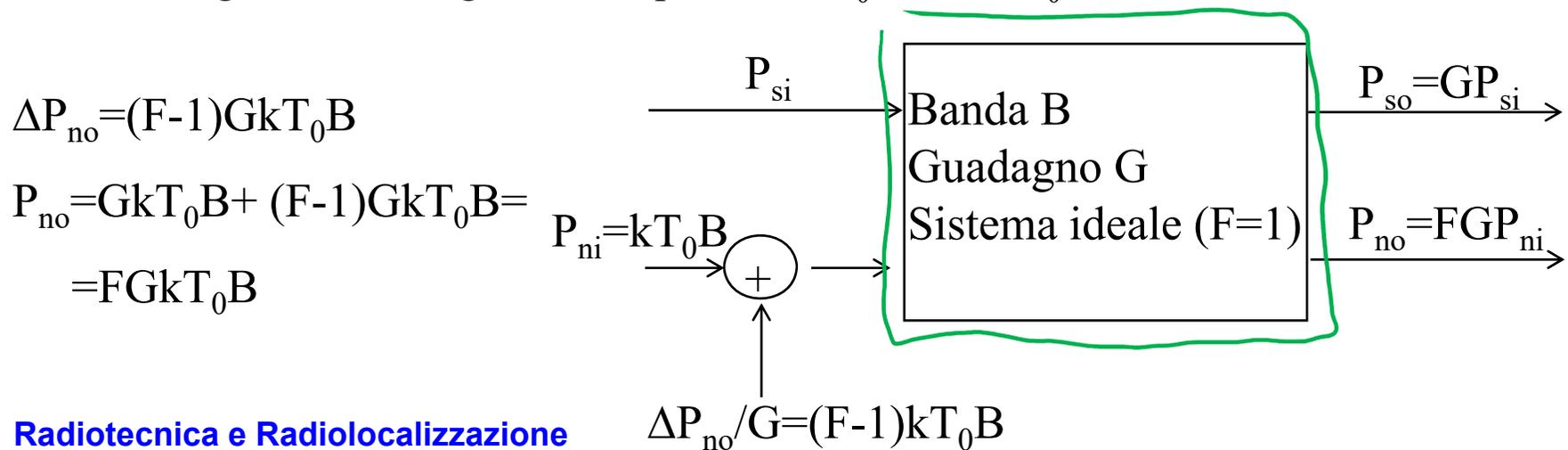
# Figura di Rumore (II)

- 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:  $\Delta P_{no}$ )  $F=1$ ;

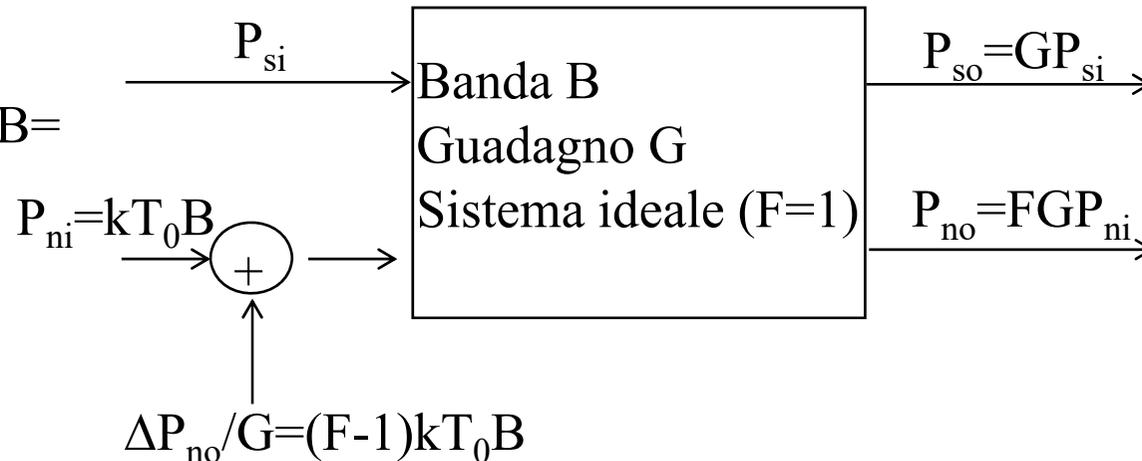
- Il dispositivo rumoroso è equivalente ad un dispositivo non rumoroso con in ingresso una sorgente a temperatura  $FT_0$  anziché  $T_0$ .



# Figura di Rumore (III)

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

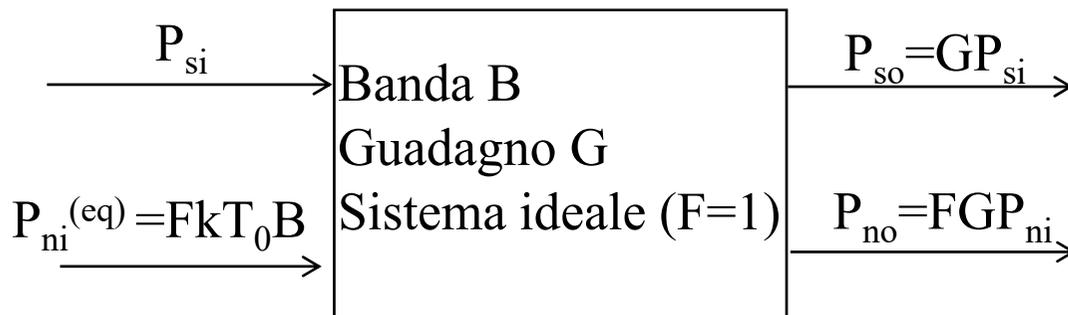
$$P_{no} = GkT_0B + (F-1)GkT_0B = FGkT_0B$$



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

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

$$P_{no} = FGkT_0B$$



# 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  $\Delta P_{no}$ .

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

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

- La relazione con la figura di rumore è data da

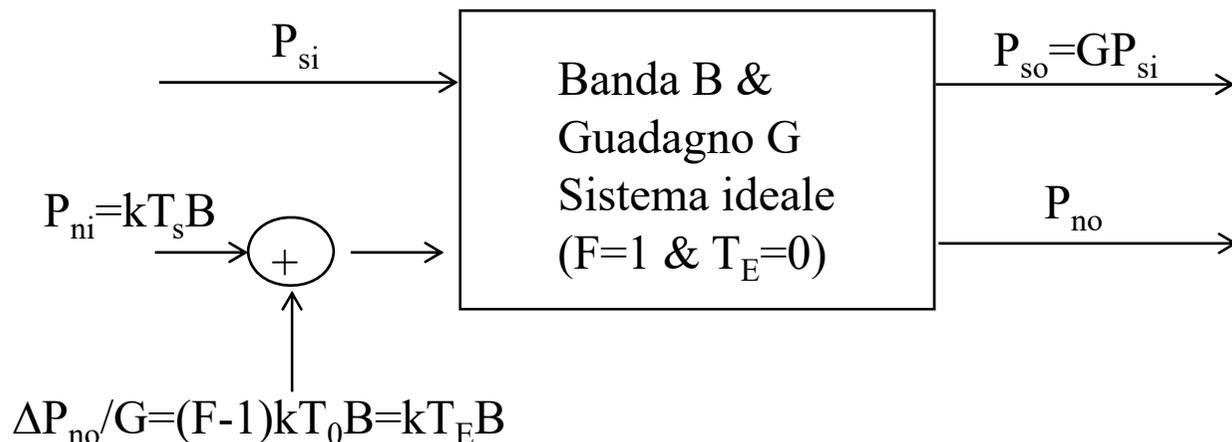
$$T_E = (F-1)T_0$$

# Temperatura Equivalente di Rumore (II)

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

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

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

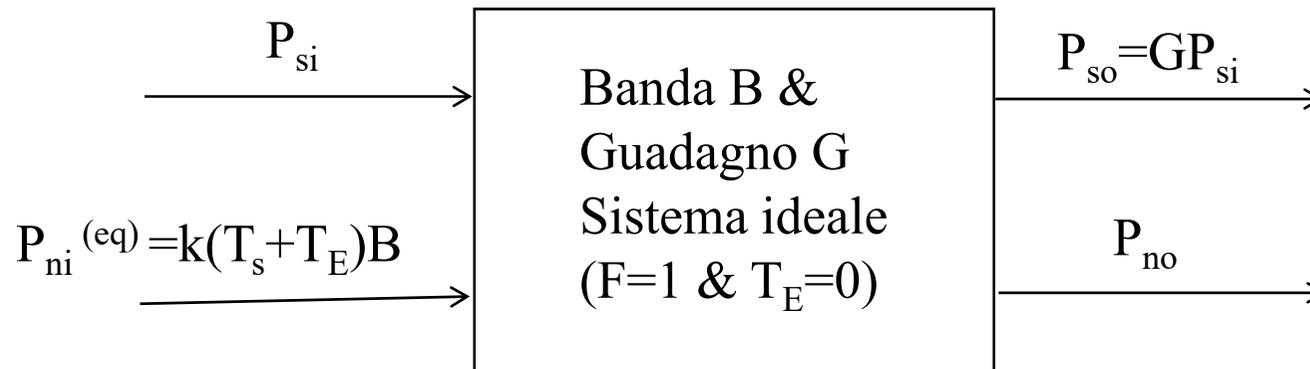


# Temperatura Equivalente di Rumore (III)

- 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)

## Rumore prodotto da un attenuatore

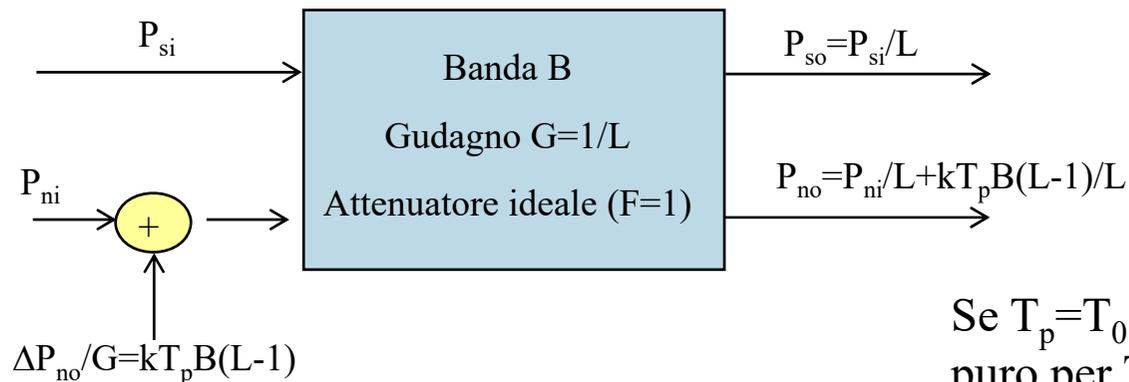
- Linee di trasmissione, giunti, giunti rotanti, duplexer sono attenuatori: se l'attenuatore è alla temperatura fisica  $T_p$  ed è caratterizzato da un'attenuazione  $L$  ( $L=P_{si}/P_{so}$ ,  $L>1$ )

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



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

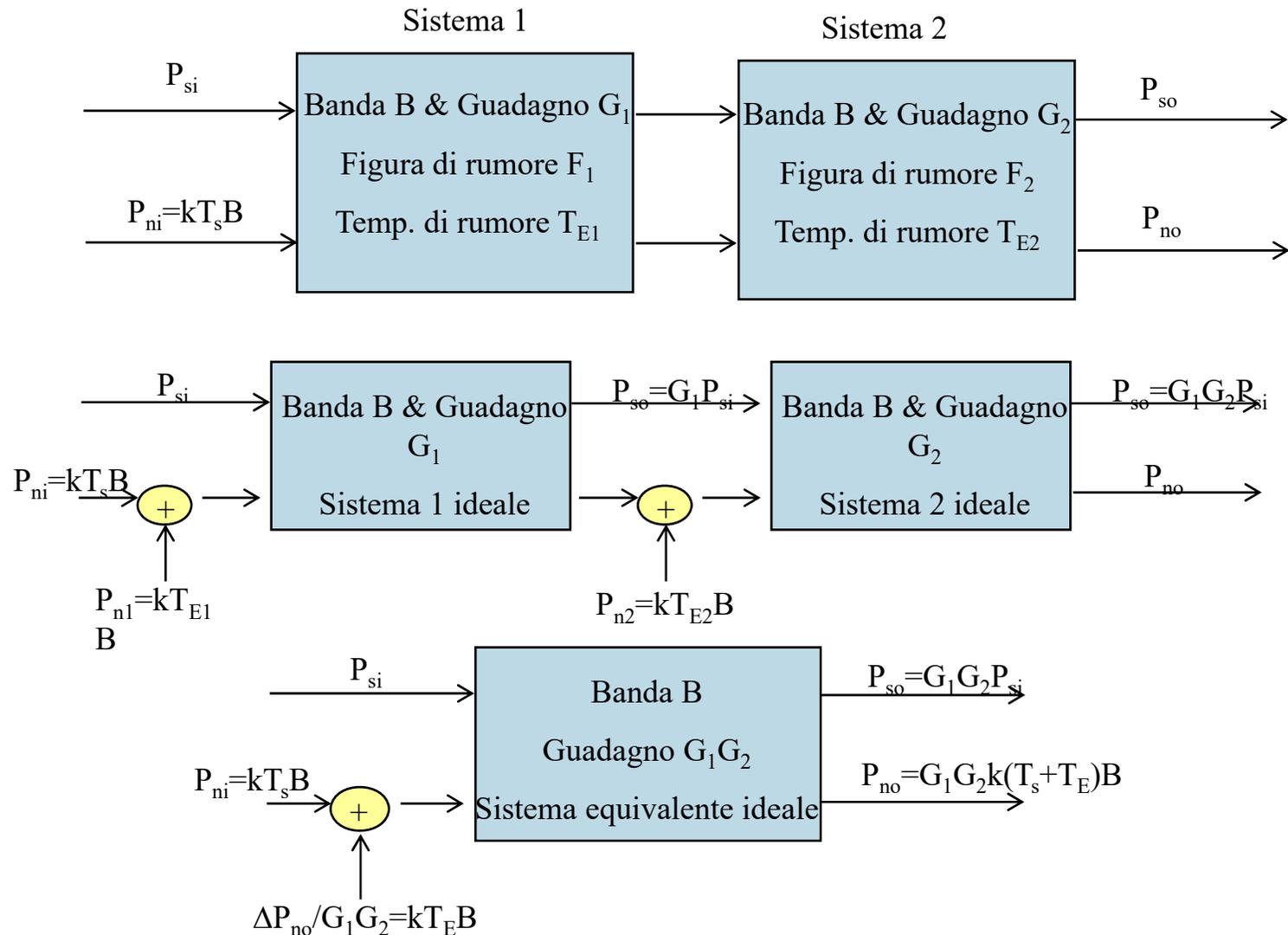
$$F = 1 + (L-1) \frac{T_p}{T_0}$$



Se  $T_p = T_0 \Rightarrow F=L$ : un attenuatore puro per  $T_p = T_0$  è trasparente al rumore cioè vede in ingresso e in uscita lo stesso rumore.

# Rumore termico (V)

Sottosistemi  
in cascata

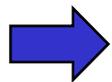


# Rumore termico (VI)

$$\left. \begin{aligned} P_{no} &= G_1 G_2 k \left( T_s + T_{E1} + \frac{T_{E2}}{G_1} \right) B \\ P_{no} &= G_1 G_2 \left( P_{ni} + \frac{\Delta P_{no}}{G_1 G_2} \right) = G_1 G_2 k (T_s + T_E) B \end{aligned} \right\} T_E = T_{E1} + \frac{T_{E2}}{G_1} \quad \Rightarrow \quad F = 1 + \frac{T_E}{T_0} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

Generalizzando al caso di **N sottosistemi in cascata**:

$$\begin{aligned} T_E &= T_{E1} + \frac{T_{E2}}{G_1} + \frac{T_{E3}}{G_1 G_2} + \dots + \frac{T_{EN}}{G_1 G_2 \dots G_{N-1}} \\ F &= F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_N - 1}{G_1 G_2 \dots G_{N-1}} \end{aligned}$$



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

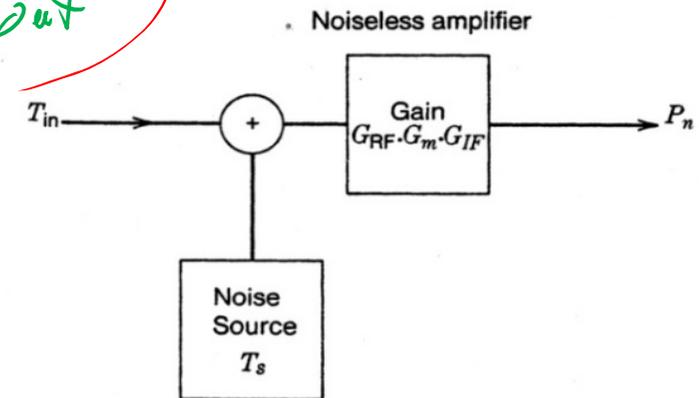
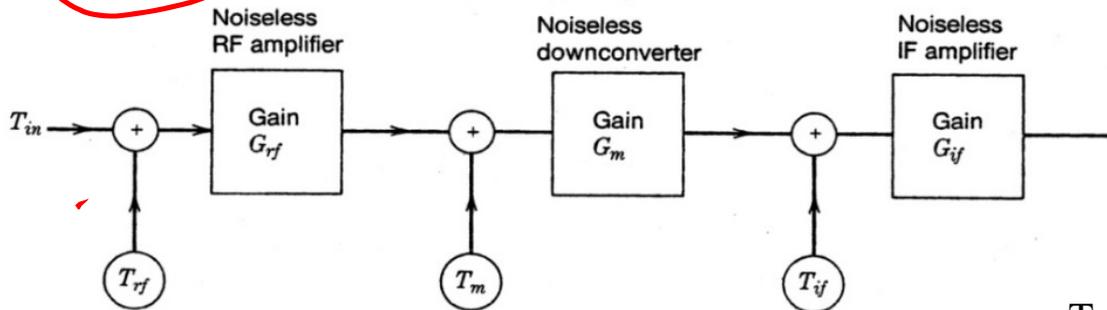
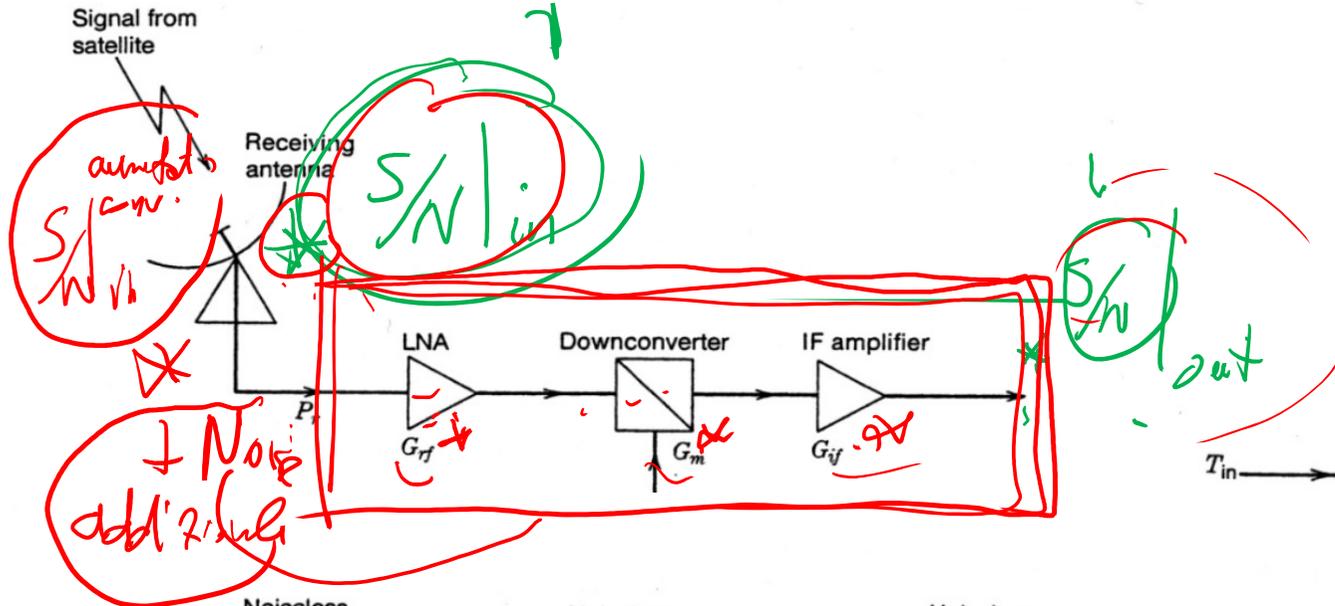
ESEMPIO: Valutazione temperatura di rumore di sistema

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

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

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

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



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