

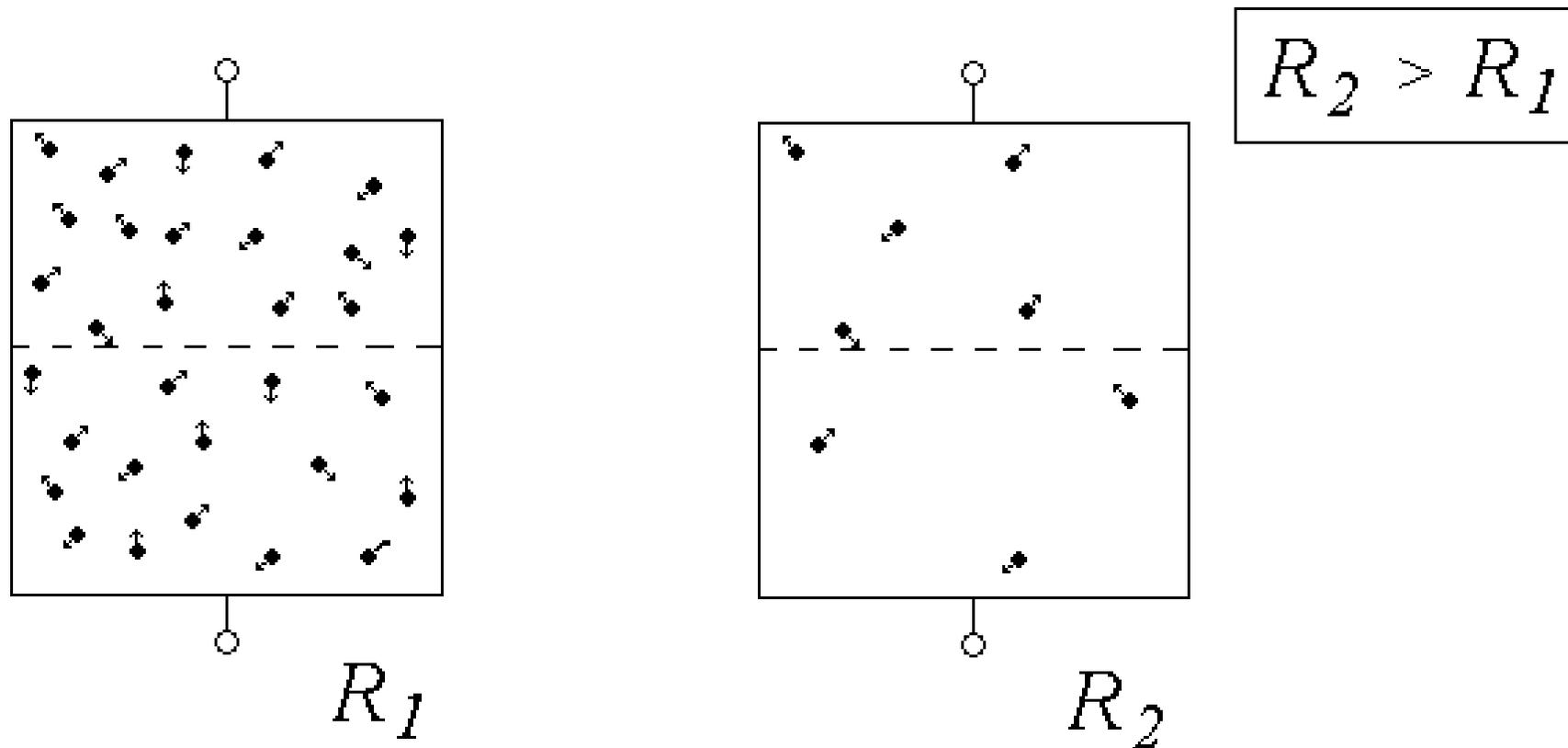


**A.R.I.**

**Sezione di Parma**

**NOISE**

Carlo Vignali, I4VIL



Supponendo il resistore composto da due parti simmetriche, queste conterranno, in media, lo stesso numero di elettroni. La ddp media ai morsetti è nulla.

Dato il movimento completamente casuale degli elettroni (agitazione termica), il valore istantaneo del numero di elettroni nelle due metà può cambiare (seppur di poco) con probabilità tanto maggiore quanto è basso il numero totale di elettroni.

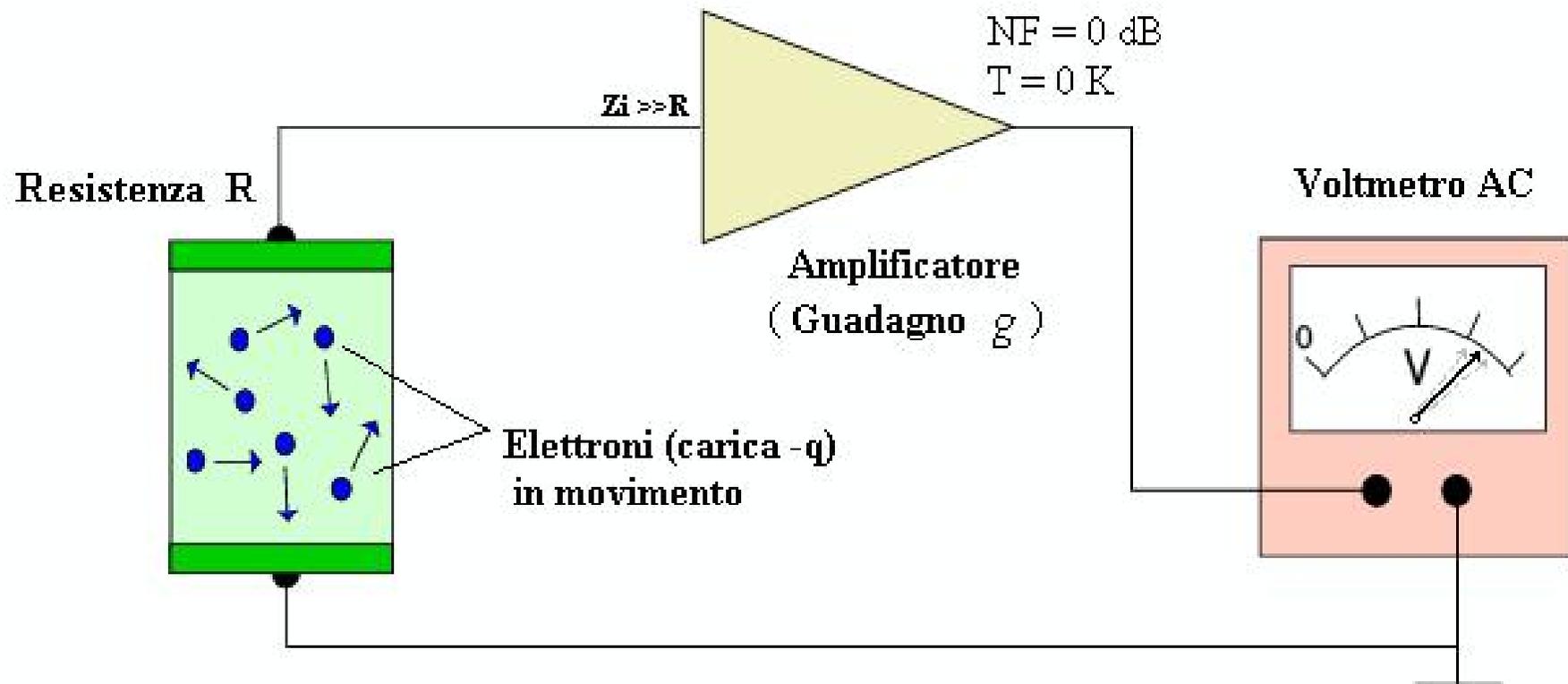
La tensione quadratica di rumore è maggiore, quindi, se la resistenza è di alto valore (pochi elettroni liberi).

# JOHNSON NOISE

**Il Johnson noise ( o rumore termico ) è dovuto al moto termico casuale degli elettroni.**

**In un conduttore di resistenza  $R$  è presente un gas di elettroni il cui moto casuale ( con velocità quadratica media dipendente dalla temperatura  $T$  ), per effetto degli urti elettrone-reticolo, è fortemente irregolare.**

**Ai morsetti della resistenza  $R$  è presente una fem con valore medio nullo, ma con valore quadratico medio  $V^2 = 4 k T R Df$  .**



Tensione prodotta da una resistenza  $R$  posta ad una temperatura  $T$ .

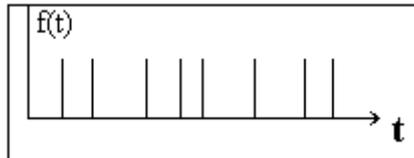
L'indice del voltmetro fluttua attorno al valore  $v_n = \sqrt{4 k T B R} \cdot g$

# SHOT NOISE

**E' conseguenza della quantizzazione della carica elettrica**

**E' presente in tutti i conduttori e dispositivi percorsi da corrente ed è particolarmente evidente quando è coinvolto un numero relativamente piccolo di portatori (in genere: elettroni).**

**Il rumore “shot” ha spettro “bianco” con densità spettrale indipendente dalla frequenza.**

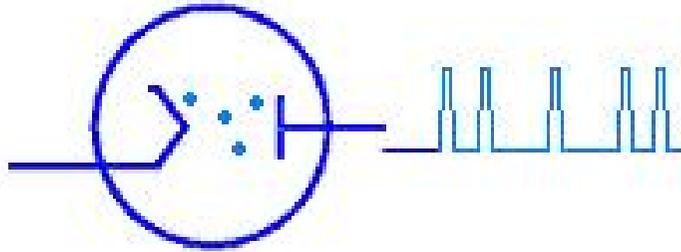


**La corrente attraverso una sezione di conduttore è data da una sequenza casuale di eventi elementari, ognuno con trasporto di carica q.**

**La corrente media è data da  $I_{DC} = q n$  dove n è la frequenza media del passaggio dei portatori.**

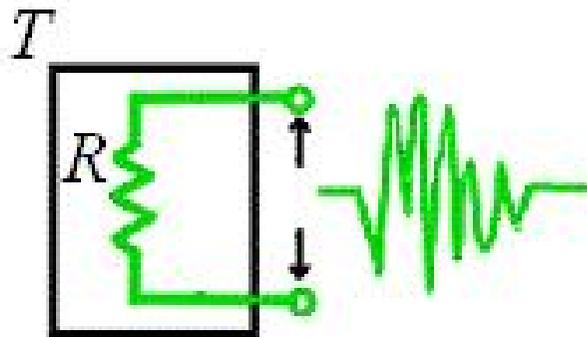
**Le fluttuazioni attorno al valore medio  $I_{DC}$  costituiscono il rumore granulare (shot noise).**

**La densità spettrale è data da:  $J(f) = 2 q I_{DC}$  (spettro “bianco”).**



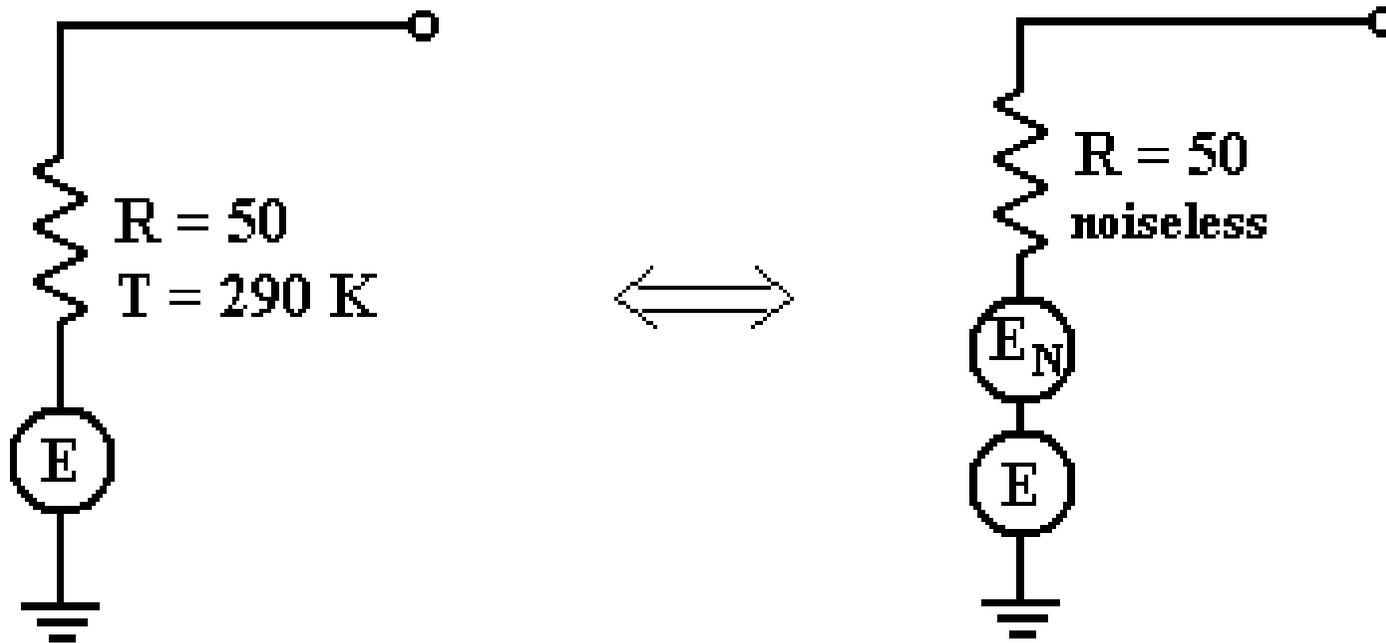
### Shot Noise

$$J(f) = 2qI \left[ \frac{A^2}{Hz} \right]$$



### Johnson Noise

$$J(f) = 4kTR \left[ \frac{V^2}{Hz} \right]$$



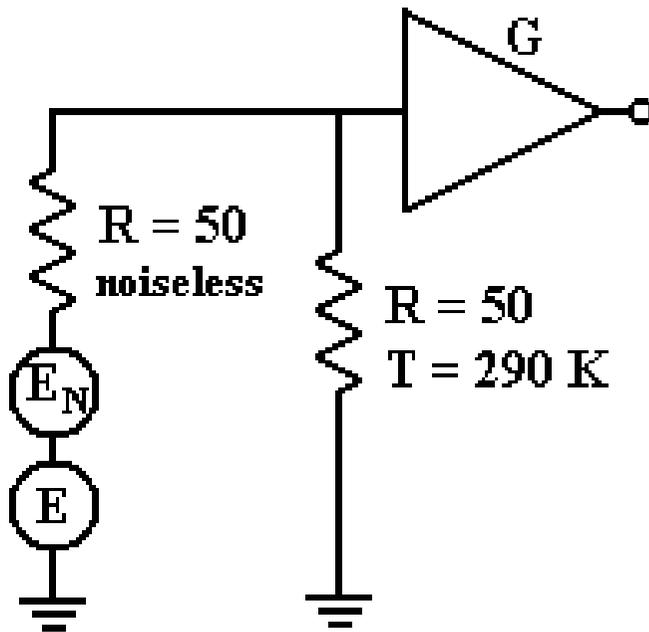
Circuito equivalente di sorgente di segnale  $E$  con resistenza interna  $R$  posta a temperatura  $T$ .

Il valore quadratico medio del rumore aggiunto è dato da:

$$E_N^2 = 4 k T \Delta f R$$

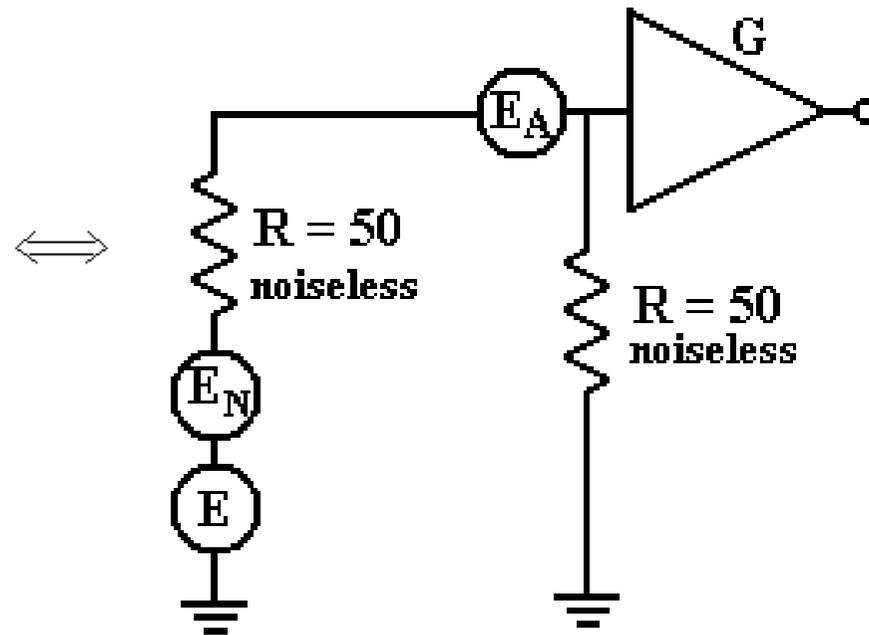
Sorgente

Amplificatore



Sorgente

Amplificatore



La sorgente è “matched” con la impedenza di ingresso dell’amplificatore. Questa tiene conto del rumore dell’amplificatore. Se, per esempio, il NF dell’amplificatore è 3 dB, la resistenza di ingresso è a temperatura  $T = 290$  K .

A destra è il circuito equivalente con resistenza di ingresso “noiseless”, ma con generatore di rumore equivalente :

$$E_A^2 = 4 k \cdot 290 \cdot 50 \quad [\mu V^2]$$

# FATTORE DI RUMORE $F$

(in potenza)

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

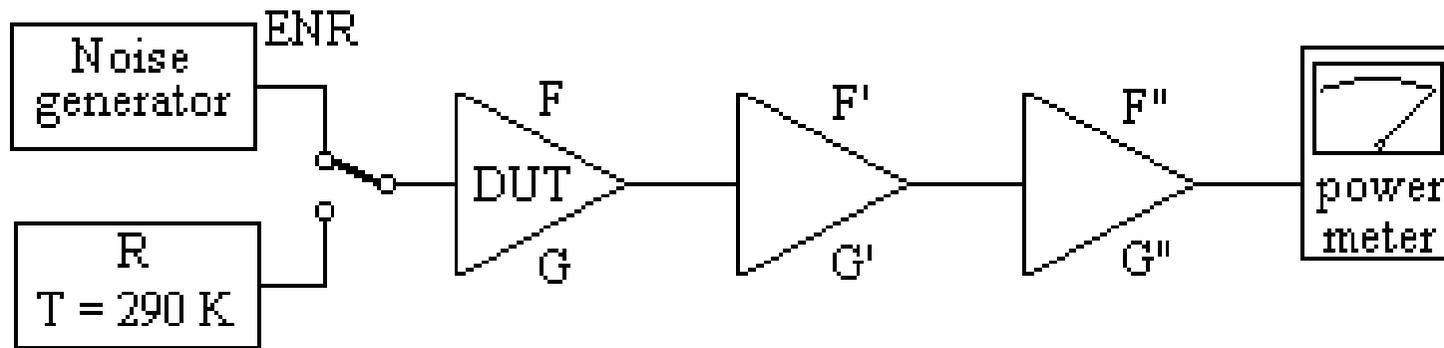
$$F = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_i}{\left(\frac{S}{N}\right)_o} \Bigg|_{290 \text{ K}}$$

$$F = \frac{\text{Potenza di rumore totale in uscita}}{\text{Potenza di rumore in uscita dovuta alla sola sorgente}}$$

**Tabella di conversione: Noise Factor, Noise Figure e Noise Temperature  
(  $T_0 = 290 \text{ K}$  )**

	Fattore di Rumore F	Cifra di rumore (Noise Figure) NF [ dB ]	Temperatura equivalente di rumore, $T_e$ [K]
Fattore di Rumore F	F	$F = 10^{\frac{NF}{10}}$	$F = \frac{T_e}{T_0} + 1$
Cifra di rumore (Noise Figure) NF [ dB ]	$NF = 10 \text{ Log}( F )$	NF	$NF = 10 \text{ Log}\left\{\frac{T_e}{T_0} + 1\right\}$
Temperatura di rumore, $T_e$ [K]	$T_e = ( F - 1 ) T_0$	$T_e = \left\{10^{\frac{NF}{10}} - 1\right\} T_0$	$T_e$

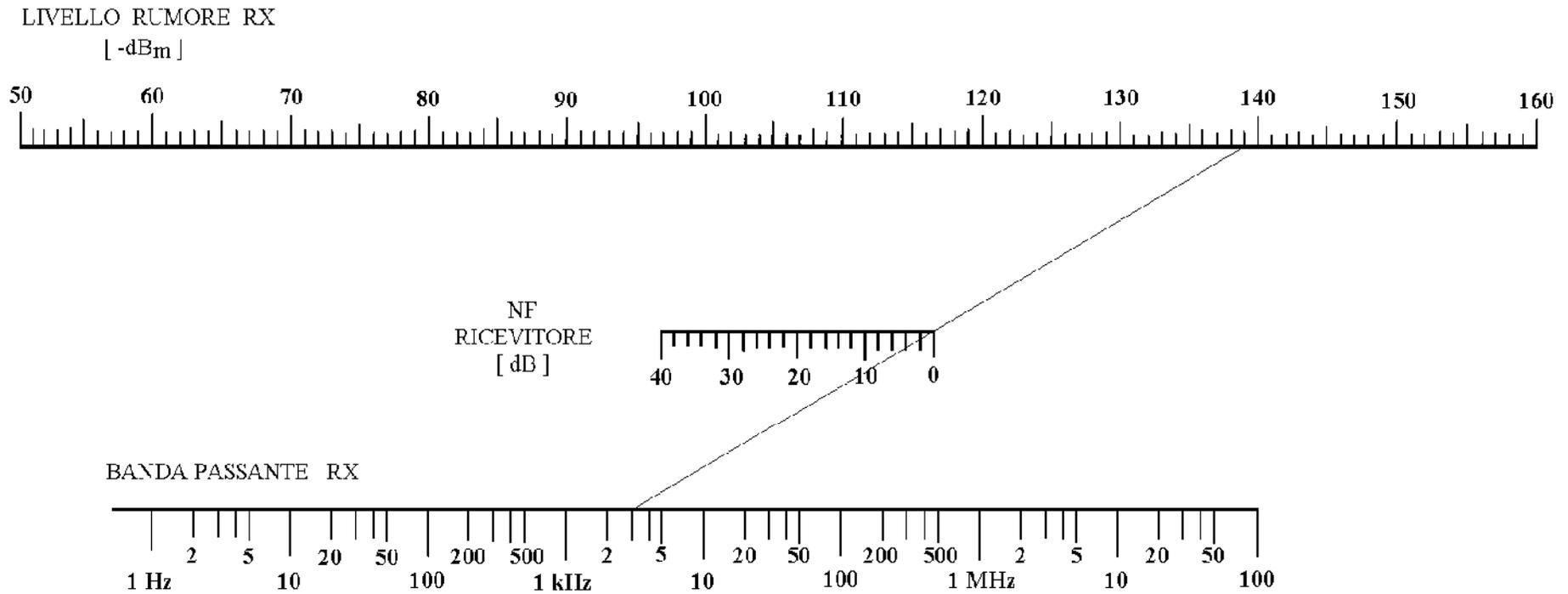
La temperatura di riferimento  $T_0$  è assunta di 290 K (circa 17 C) ,



$$F_{\text{misura}} = F + \frac{F' - 1}{G} + \frac{F'' - 1}{G \cdot G'}$$

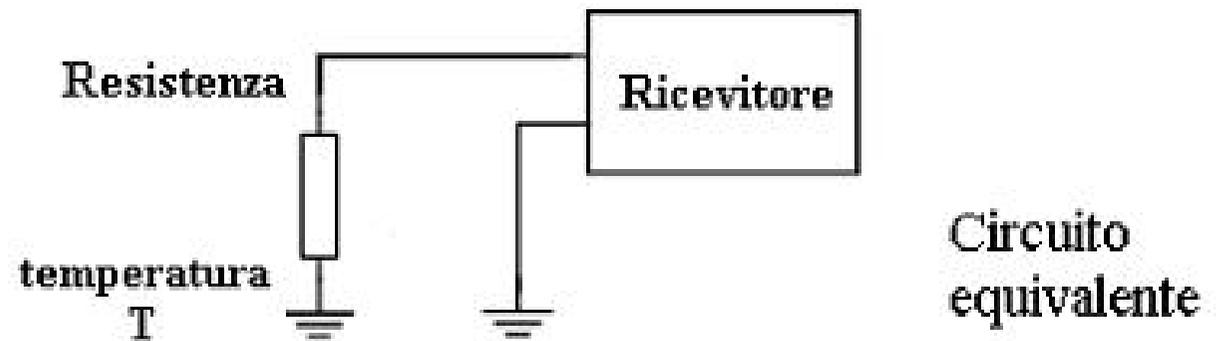
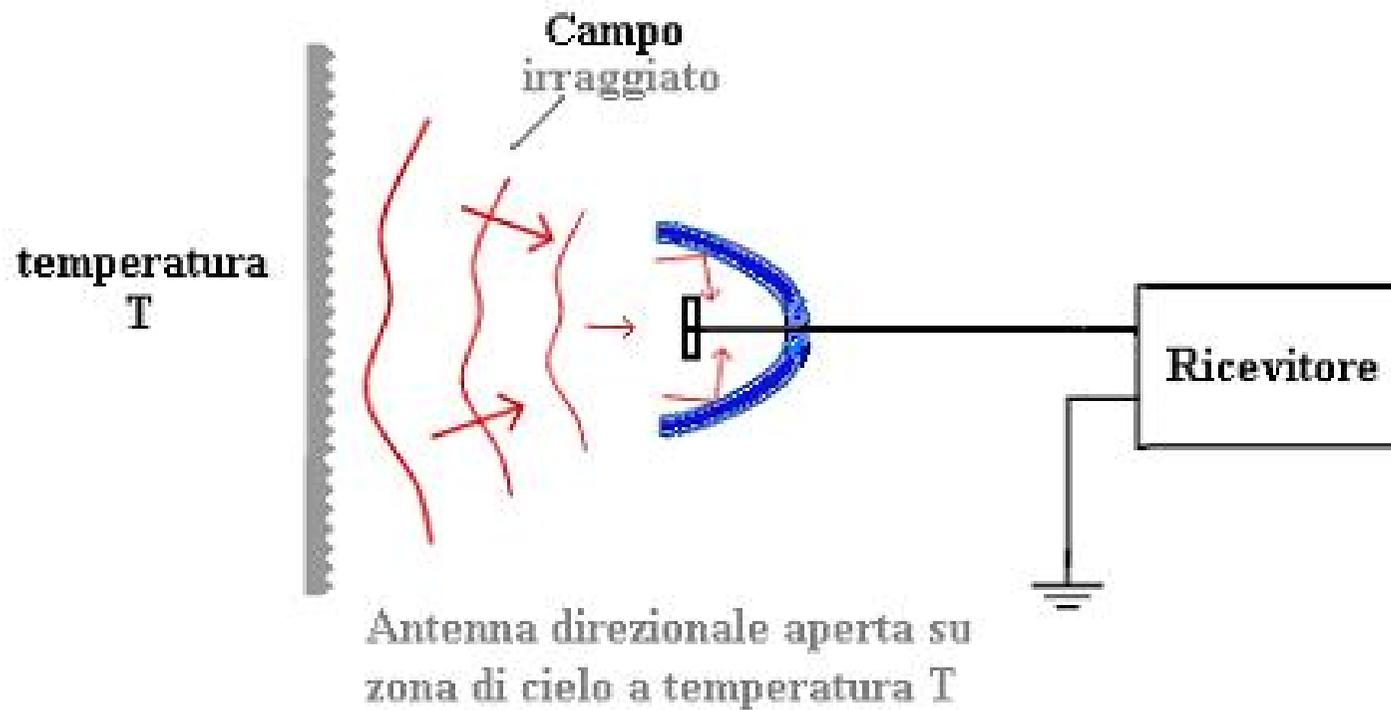
$$NF = 10 \log F \quad [\text{dB}]$$

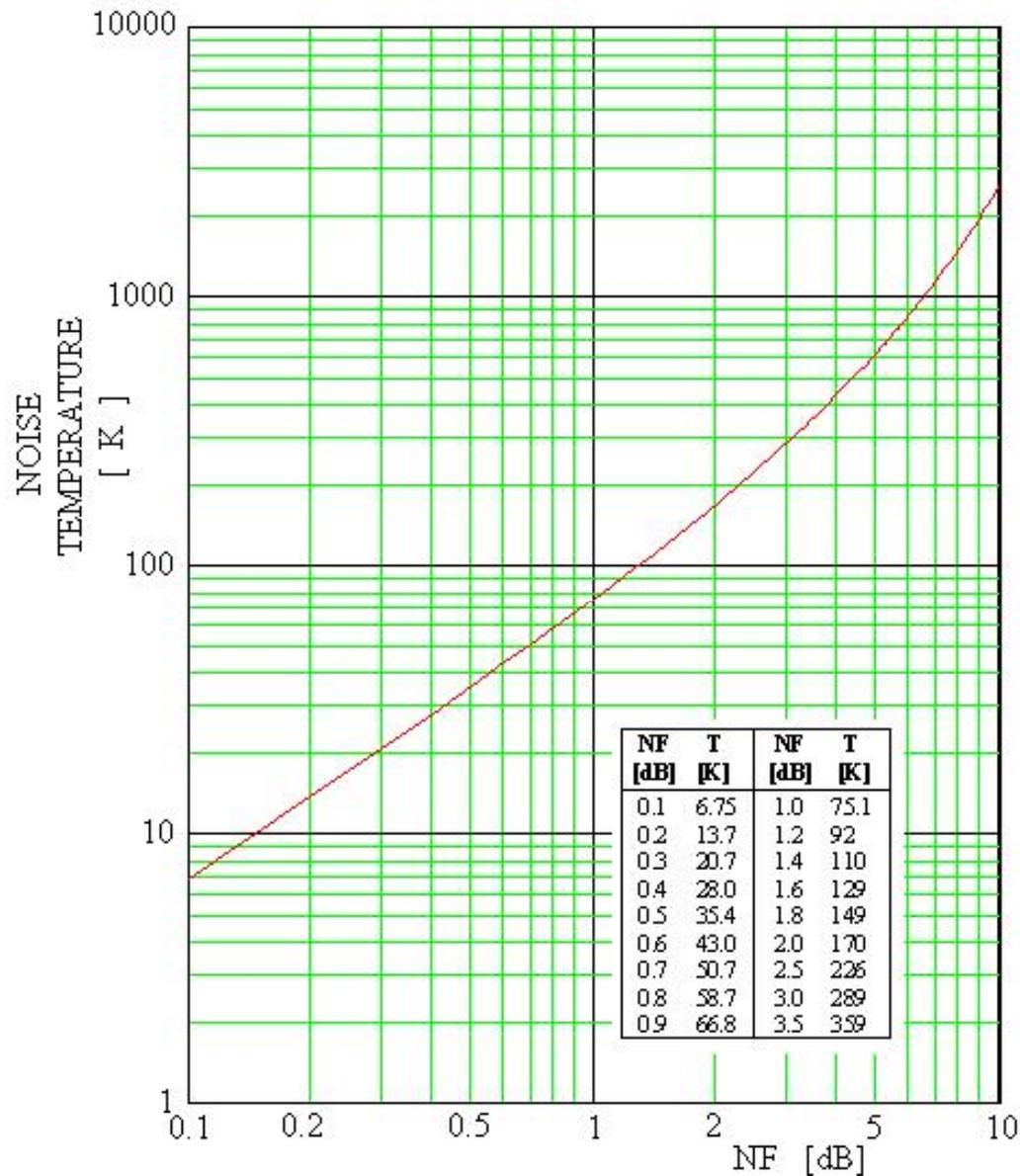
Schematizzazione della misura del Noise Figure, NF, di un preamplificatore (DUT) col metodo dei due generatori. Effetto sul fattore di rumore F e sul Noise Figure NF degli stadi successivi.



**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 .**





## RELAZIONE TRA TEMPERATURA EQUIVALENTE DI RUMORE E NF

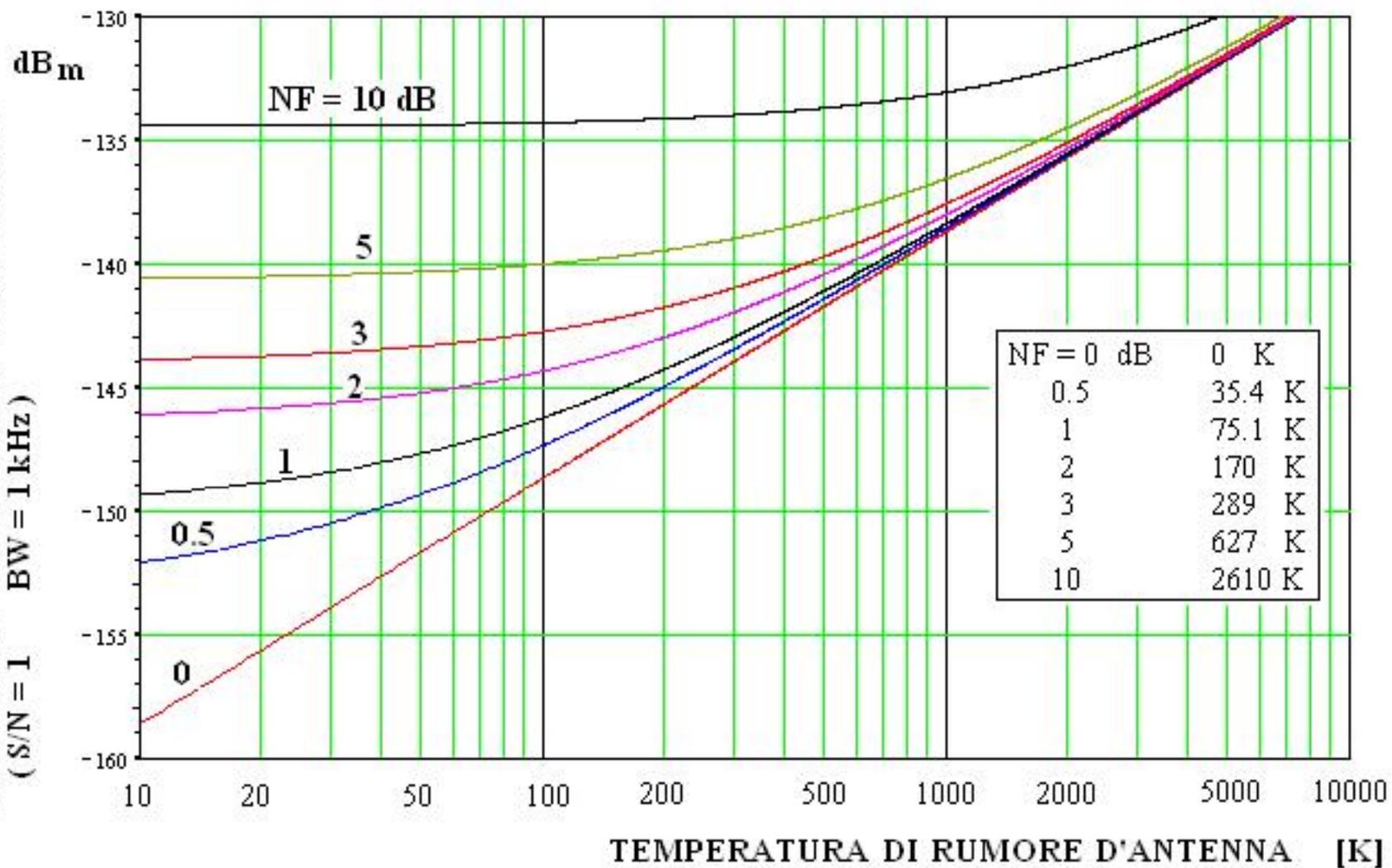
$$TE = 290 \cdot \left[ 10^{\frac{NF}{10}} - 1 \right]$$

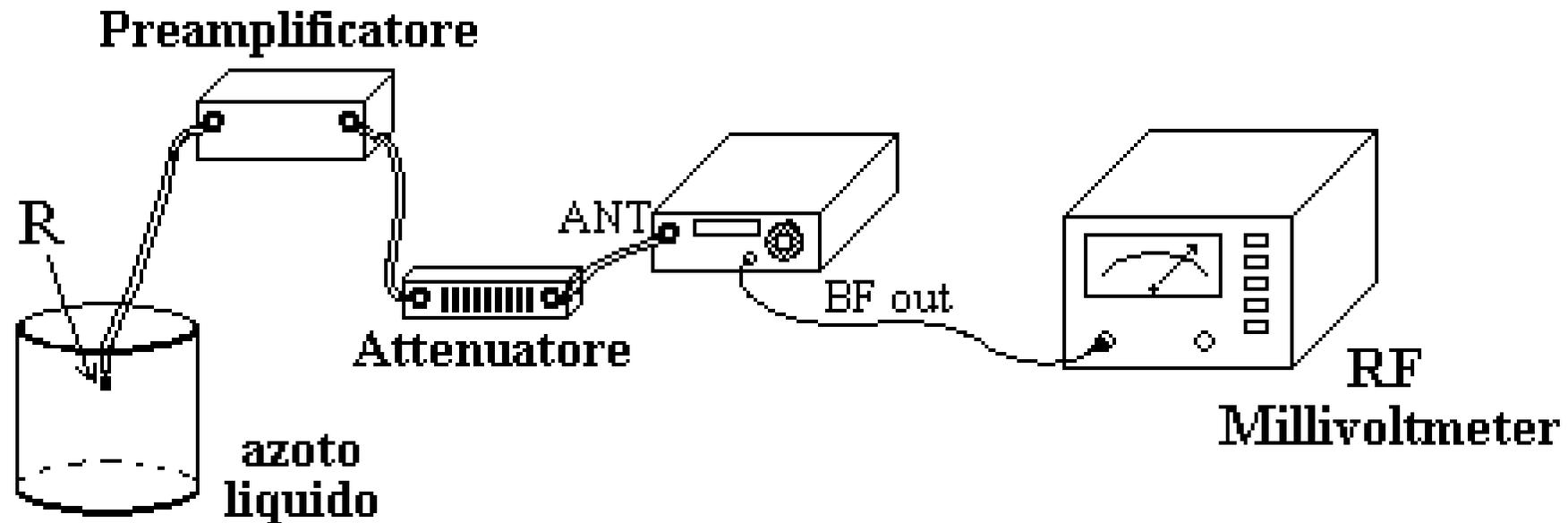
La figura di rumore NF (Noise Figure) è il fattore di rumore F (noise Factor) espresso in dB:  $NF = 10 \text{ Log } F$ .

Il fattore di rumore  $F = (S/N)_I / (S/N)_O$  esprime direttamente la degradazione del rapporto S/N di un segnale nel passaggio in un circuito elettrico.

La temperatura equivalente di rumore (TE) è la temperatura in gradi K che rende conto della potenza di rumore presente ed è legata al fattore di rumore da:  $TE = 290 (F-1)$ .

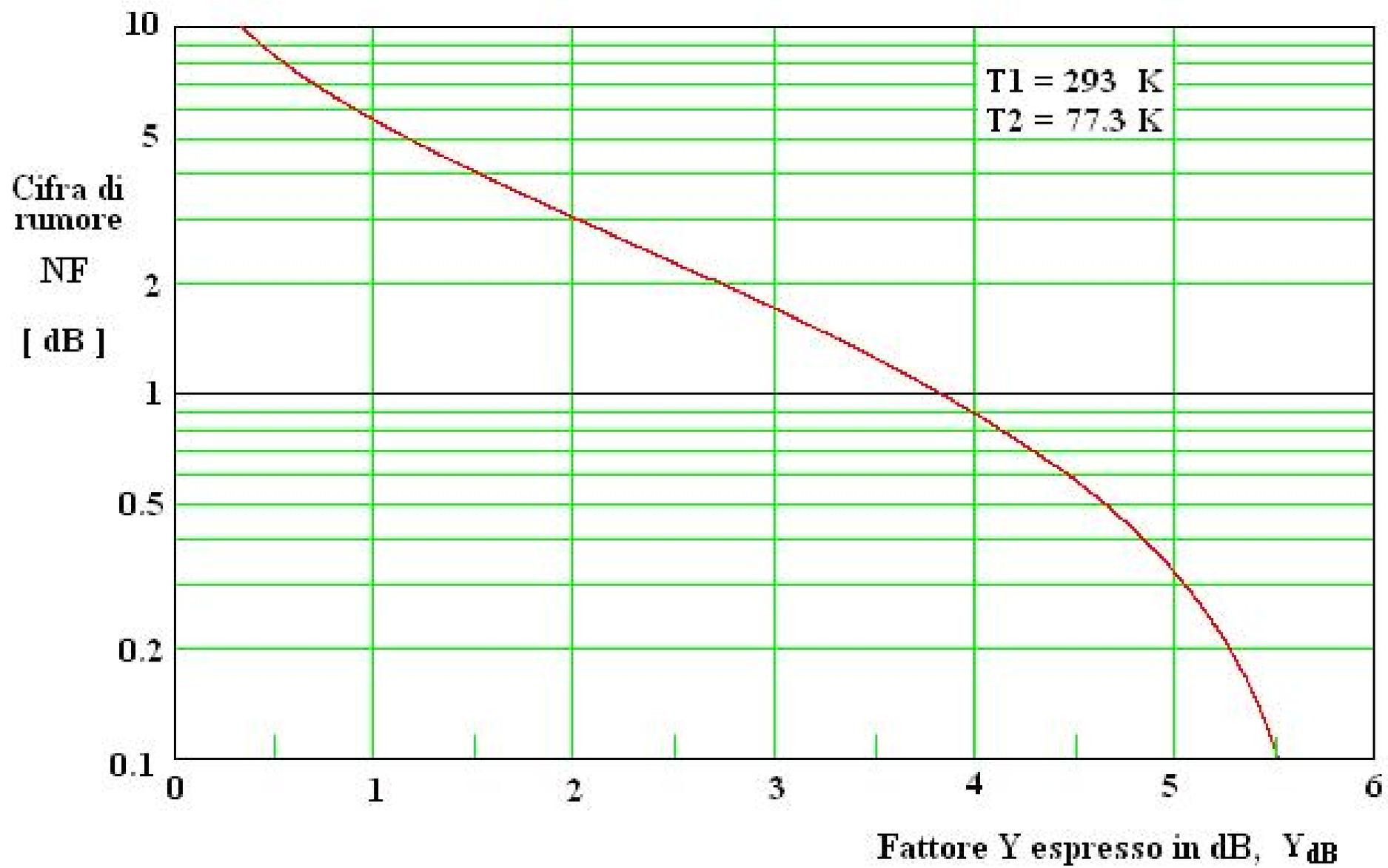
SENSIBILITA' DEL SISTEMA DI RICEZIONE  
(S/N = 1 BW = 1 kHz)

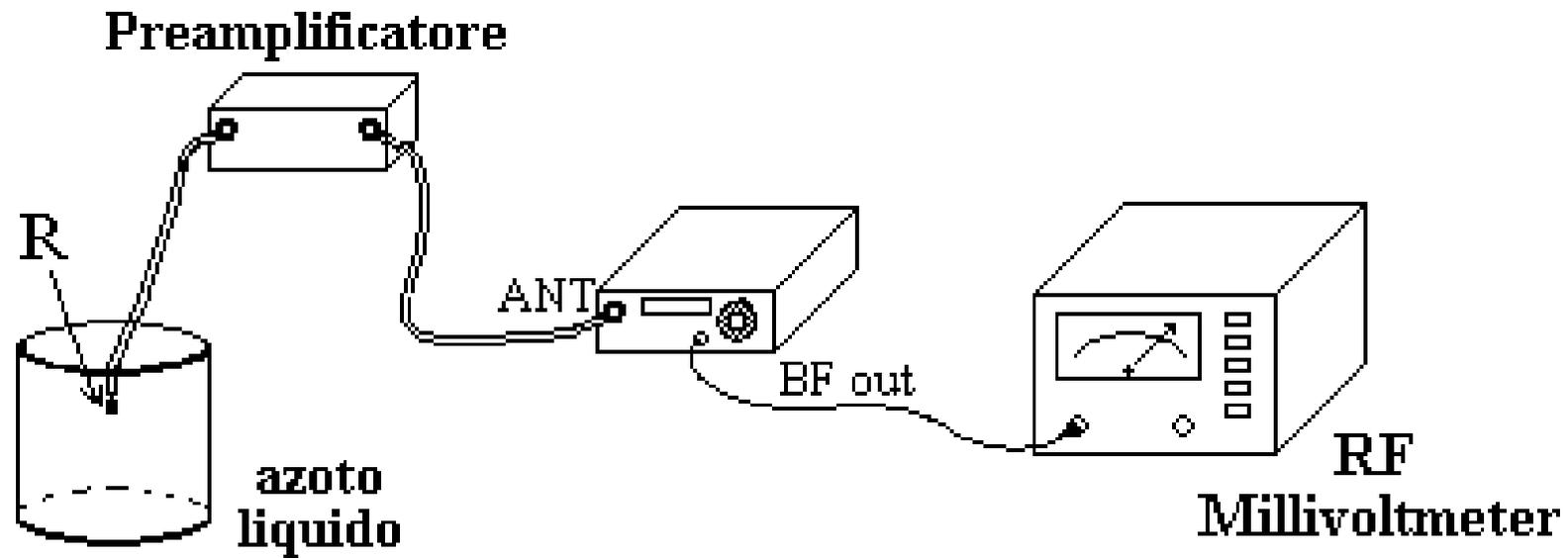




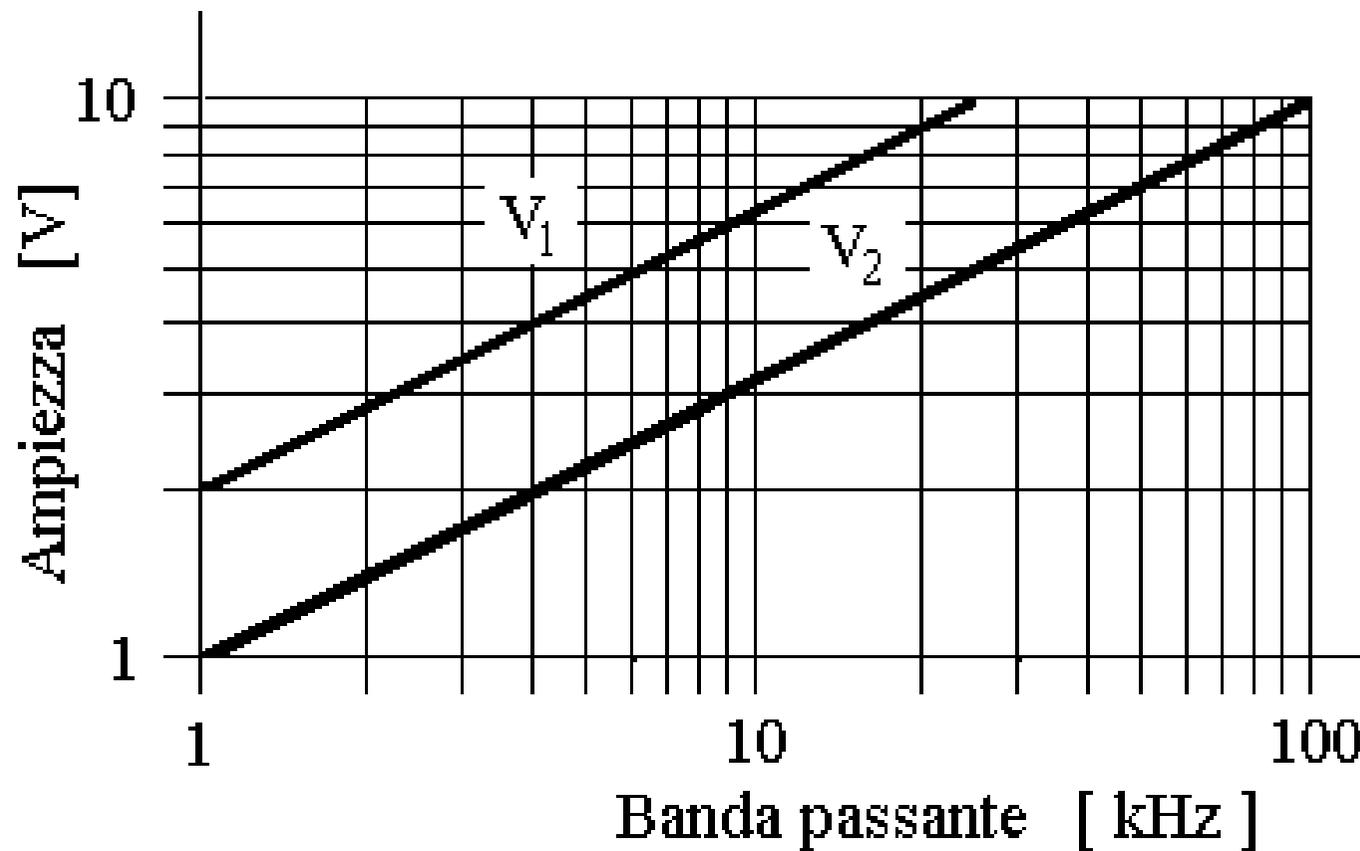
**Per ottenere il fattore  $Y$  occorre effettuare due misure con la resistenza  $R$  posta a due temperature diverse.**

**Per esempio:  $R_T$  (300 K) e  $LNT$  (77 K)**



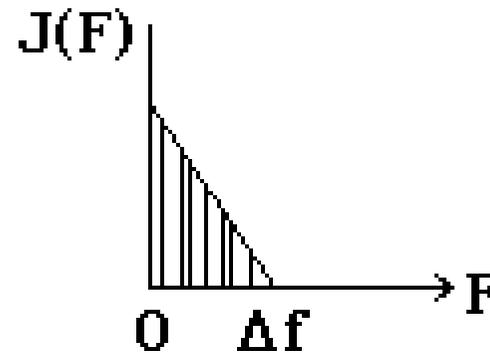
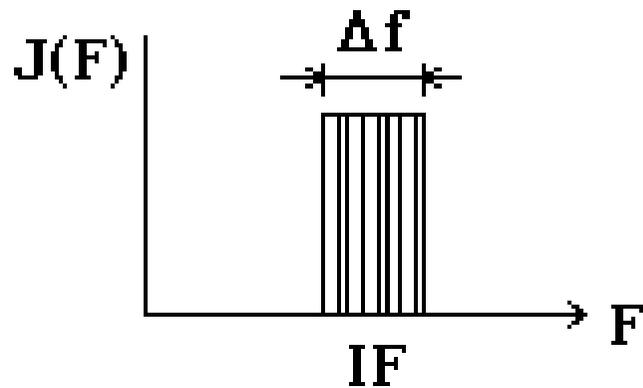


Misura del NF di un preamplificatore col metodo delle due temperature, attraverso il fattore Y.



**Ampiezza media in IF del noise di due sorgenti, entrambe con spettro “bianco”.**

**Il rapporto dei due “noise” è indipendente dalla banda passante del ricevitore.**



**errore relativo nella misura  
della densità spettrale**

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

**Schematizzazione della densità spettrale del rumore in media  
frequenza e dopo il rivelatore AM (bassa frequenza).**

L'errore è minore se la banda  $\Delta f$  prima del rivelatore è grande e se la banda  $\Delta F$  dopo il rivelatore è piccola (grande costante di tempo).