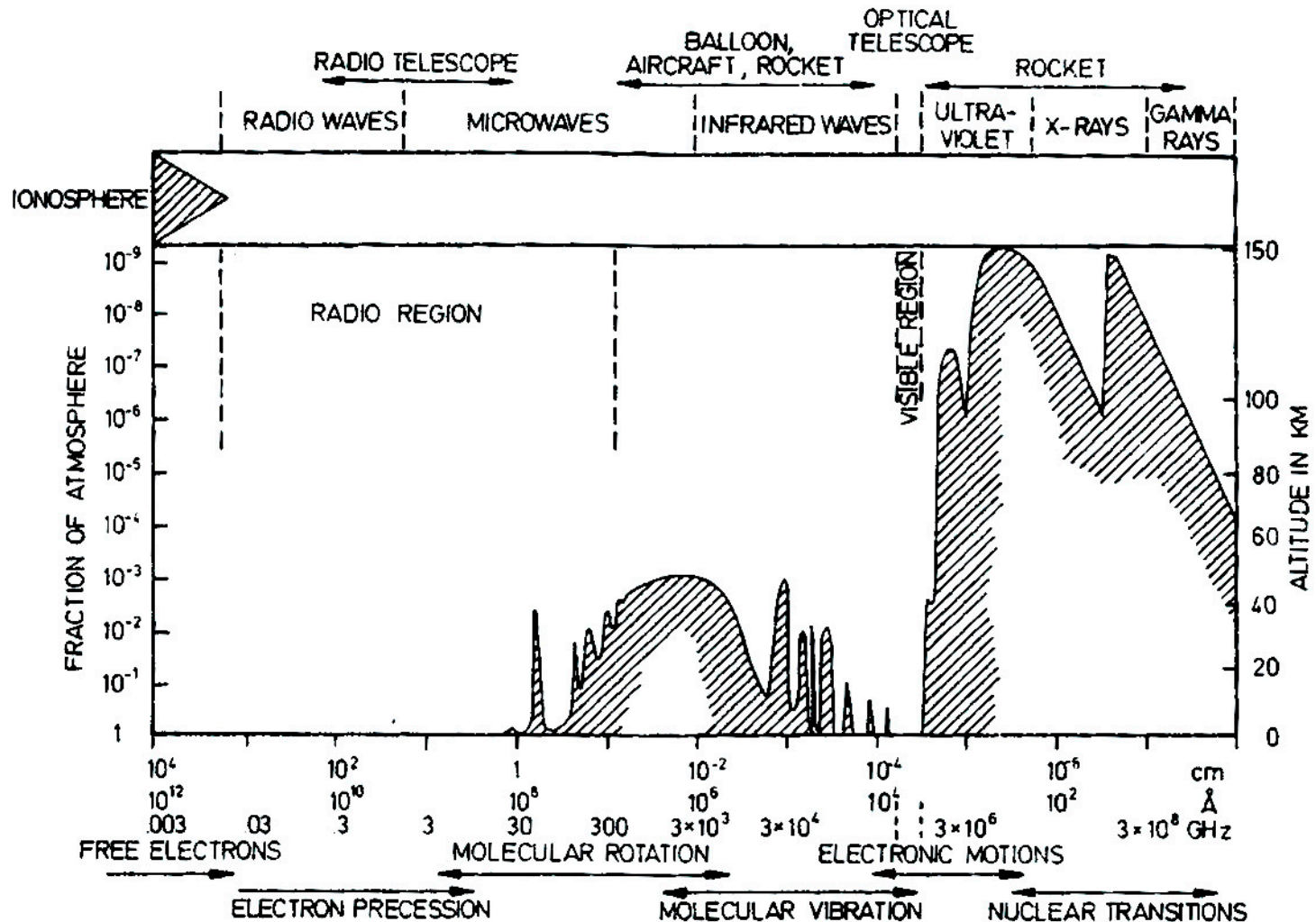


# Strumentazione Astronomica: Radioastronomia



**Fig. 1.1.** The transmission of the earth's atmosphere for electromagnetic radiation. The diagram gives the height in the atmosphere at which the radiation is attenuated by a factor  $1/2$

# Strumentazione Astronomica: Radioastronomia

Principio di reciprocità: il diagramma di radiazione in *trasmissione* coincide con quello in *ricezione*

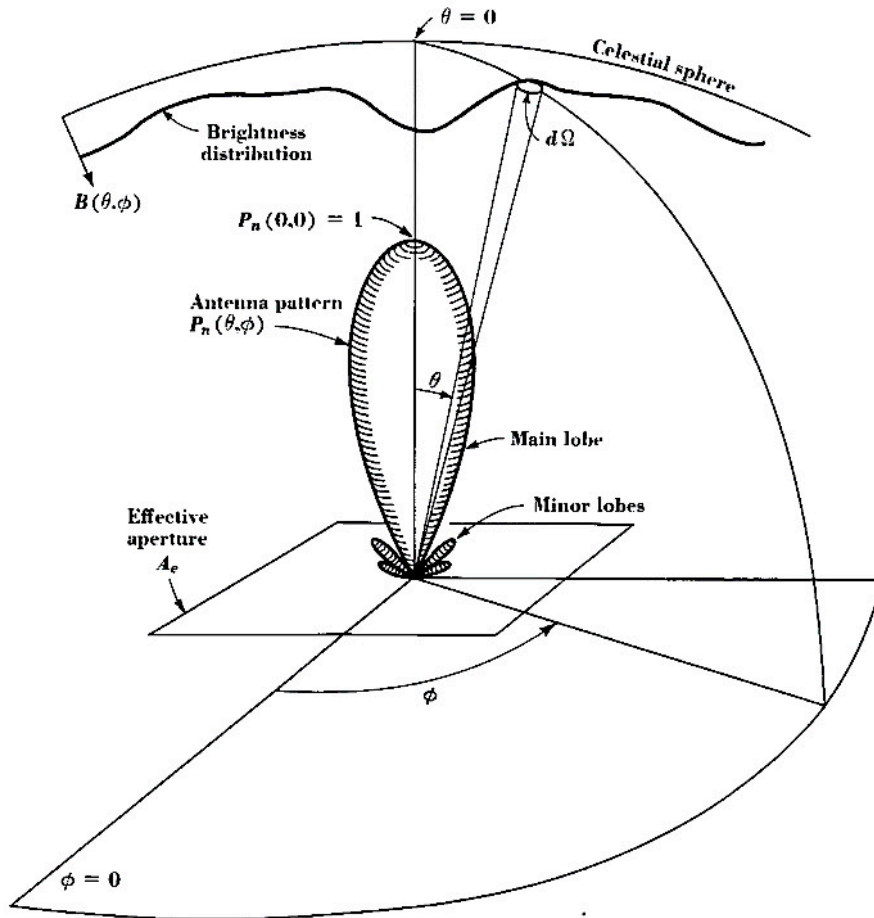


Fig. 3-2. Relation of antenna pattern to celestial sphere with associated coordinates.

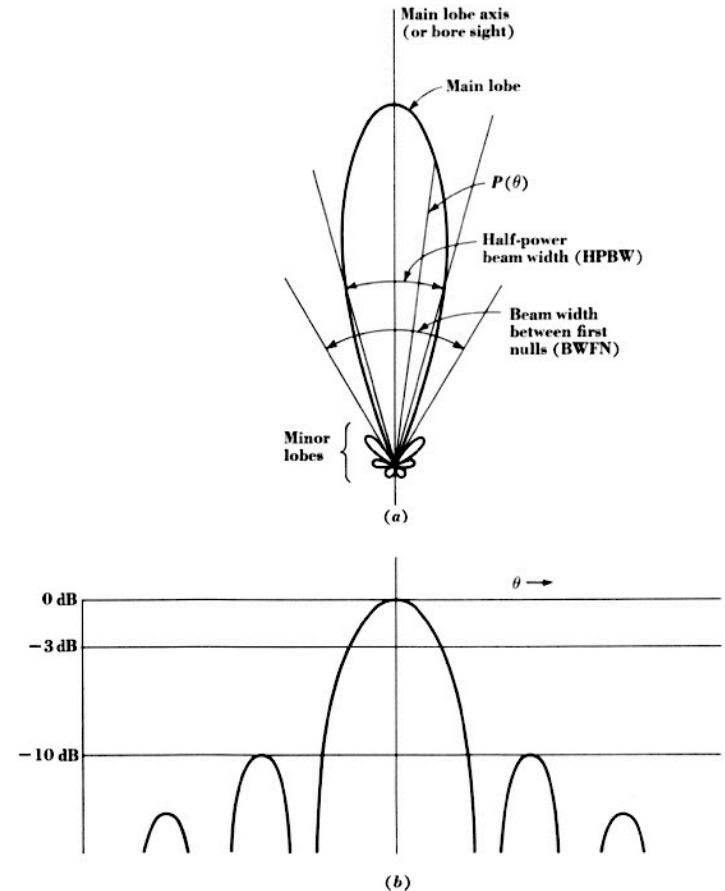


Fig. 6-1. (a) Antenna pattern in polar coordinates and linear power scale; (b) antenna pattern in rectangular coordinates and decibel power scale.

# Strumentazione Astronomica: Radioastronomia

Alcune definizioni:

$$\Omega_{A/MB} = \iint_{4\pi/MB} P_n(\vartheta, \varphi) d\Omega$$

Angolo solido di Antenna e di Main Beam a seconda che l'integrale sia esteso a tutto l'angolo solido o al solo Main Beam.

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A}$$

Direttività: misura quanto un'antenna è direttiva rispetto a quella isotropa che ha un angolo solido pari a  $4\pi$

$$\lambda^2 = A_{eff} \Omega_A$$

L'Area Efficace coincide con quella fisica se il campo elettrico è distribuito uniformemente.

# Strumentazione Astronomica: Radioastronomia

Definizioni:

$$G = kD = k \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{eff} \quad \text{Guadagno (} k \text{ efficienza d'antenna } 0 < k < 1)$$

$$\varepsilon_M = \frac{\Omega_M}{\Omega_A}$$

Efficienza di Main  
Beam

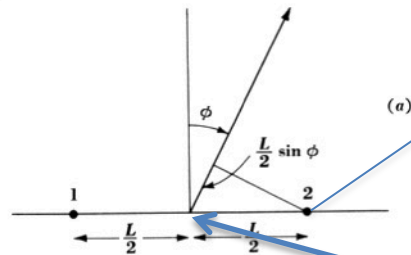
$$\varepsilon_A = \frac{A_{eff}}{A_{ph}}$$

Efficienza di Apertura

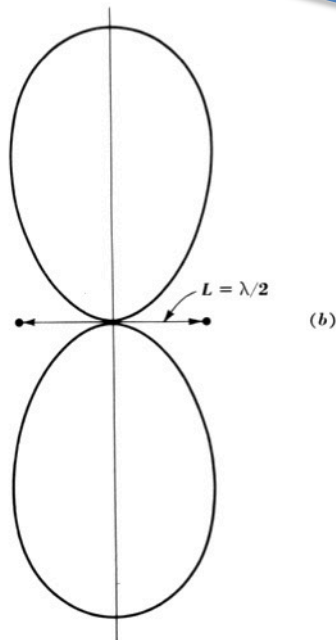
# Strumentazione Astronomica: Radioastronomia

## Teoria degli Array

Consideriamo la somma dei campi raccolti da due antenne isotrope che sono separate da una distanza  $L$ . I segnali sono sommati al centro del sistema con due linee di trasmissione lunghe  $L/2$ .



Il diagramma di radiazione di un'antenna puntiforme è ISOTROPO (sfera)



**Fig. 6-5.** (a) Geometry for array of two isotropic point sources, (b) field pattern of two in-phase isotropic point sources with one-half wavelength spacing.

$$E = E_2 e^{\frac{i\psi}{2}} + E_1 e^{\frac{-i\psi}{2}}$$

$$\psi = \beta L \sin \phi = \frac{2\pi L}{\lambda} \sin \phi$$

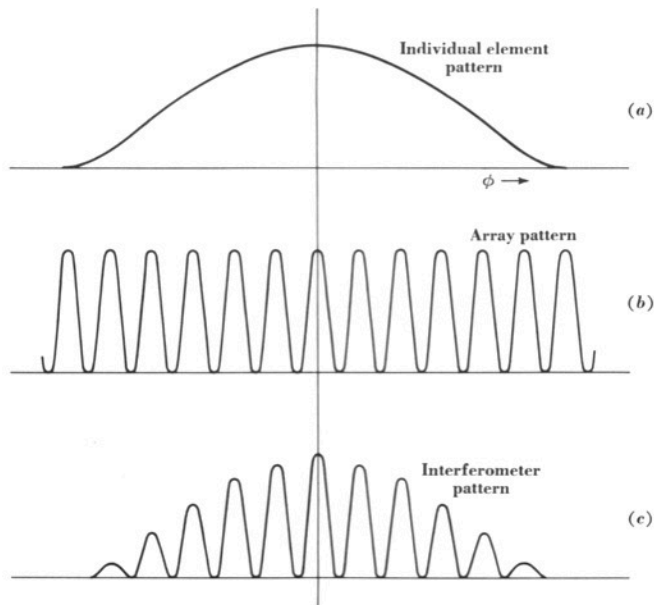
$$E_1 = E_2 = E_0$$

$$E = 2E_0 \frac{e^{\frac{i\psi}{2}} + e^{\frac{-i\psi}{2}}}{2} = 2E_0 \cos \frac{\psi}{2}$$

Principio di Moltiplicazione dei diagrammi d'antenna: il diagramma di radiazione di un'array di antenne simili è il prodotto del diagramma di radiazione della singola antenna per quello dell'array equivalente di antenne isotrope

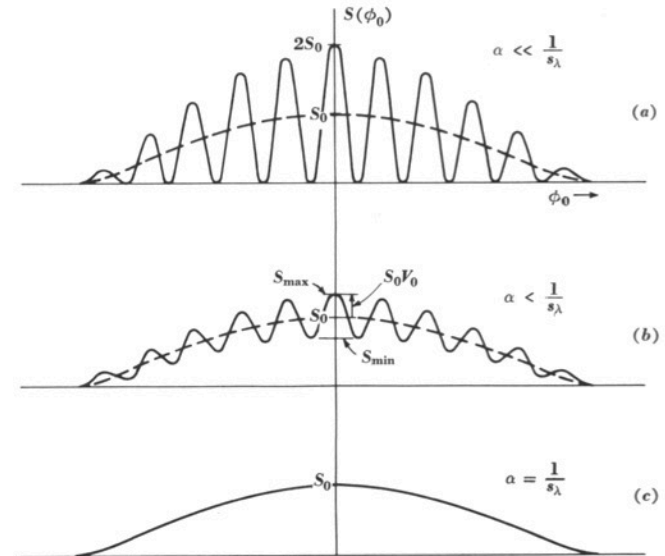
# Strumentazione Astronomica: Radioastronomia

## Principio di moltiplicazione dei diagrammi d'antenna



**Fig. 6-14.** (a) Individual-element pattern; (b) array pattern; and (c) the resultant interferometer pattern for the case of a point source.

### Diagramma di Radiazione di un interferometro



**Fig. 6-15.** Interferometer pattern (a) for point source; (b) for a uniform extended source of angle  $\alpha < 1/s_\lambda$ ; and (c) for a uniform extended source of angle  $\alpha = 1/s_\lambda$ .

Risposta di un interferometro al transito nel suo campo di vista di una sorgente a) puntiforme, b) di dimensioni angolari minori del beam sintetico, c) di dimensioni angolari pari al beam sintetico.

# Strumentazione Astronomica: Radioastronomia

## Definizione di Densità di Flusso

$$1J_s = 10^{-26} \frac{W}{m^2 \cdot Hz} \text{ Jansky}$$

esempio:  $D=32m$

$\Delta\nu=1GHz$

una sorgente da  $1J_s \Rightarrow 8 \cdot 10^{-15} W$

**SERVE UN ELEVATO GUADAGNO**

Sorgente MOLTO brillante



Infatti un tipico detector per microonde (non un bolometro) ha una sensitività di circa  $1mV/\mu W$  e quindi per generare segnali di qualche decina di mV occorrono potenze di decine di  $\mu W$  che corrispondono a guadagni dell'ordine di  $10^9-10^{10}$  (90-100 dB).

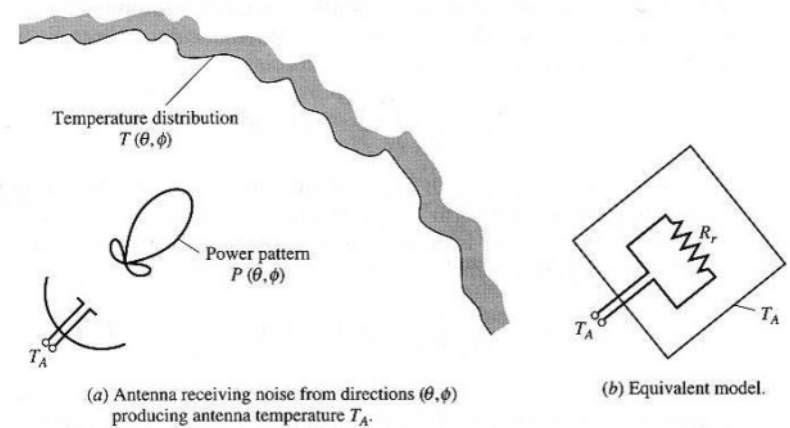
## Temperatura d'Antenna

In radioastronomia la potenza raccolta da un'antenna si misura spesso in gradi Kelvin anziché in Jansky. Questo a causa del fatto che agli 'occhi' del ricevitore l'antenna è una resistenza collegata mediante una linea di trasmissione adattata (cioè con la medesima impedenza della resistenza), in modo da massimizzare il trasferimento di potenza.

La potenza disponibile ai capi di una resistenza che si trova alla temperatura  $T$  è:  $W = kT\Delta\nu$  con  $k$  costante di Boltzmann e  $\Delta\nu$  la larghezza di banda del ricevitore che riceve questa potenza.

Un'antenna connessa alla resistenza mediante una linea di trasmissione priva di perdite irradia la medesima potenza.

In ricezione, supposta l'antenna in equilibrio con il cielo, presenta ai sui terminali una potenza pari a  $W = kT_A\Delta\nu$  con  $T_A$  **TEMPERATURA D'ANTENNA**





# Strumentazione Astronomica: Radioastronomia

Temperatura di Sistema

$$T_{Sys} = T_A + T_{RN}$$

Segnale minimo  
rivelabile

$$\Delta T_{\min} = k_s \frac{T_{Sys}}{\sqrt{\tau \cdot \Delta \nu}}$$

O equazione del  
radiometro

Il rumore del ricevitore (RN) è composto dal rumore termico della linea di trasmissione che connette Antenna a Rx e il rumore propriamente detto del ricevitore stesso.

In analogia con la nube assorbente-emittente si può ricavare

$$T_A^* = T_A e^{-\tau_{TL}} + T_{TL} (1 - e^{-\tau_{TL}})$$

## Strumentazione Astronomica: Radioastronomia

Per un sistema dove sono presenti diversi stadi di guadagno, poiché il rumore è commisurato al segnale in ingresso all'antenna, è facile verificare che

$$T_{RN} = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots + \frac{T_n}{G_1 \dots G_{n-1}} \quad \text{FORMULA Friis}$$

perché se indichiamo con  $T_i$   $G_i$  il guadagno e la temperatura di rumore dell' $i$ -esimo stadio, la potenza in uscita dal primo stadio è

$$W_1^{out} = k(T_A + T_1)G_1\Delta\nu$$

Una volta processata dal secondo è

$$W_2^{out} = k[(T_A + T_1)G_1 + T_2]G_2\Delta\nu$$

e così via... scrivendo poi  $W^{out} = k(T_A + T_{RN})G_1 \dots G_N\Delta\nu$

# Strumentazione Astronomica: Radioastronomia

In presenza di guadagni così elevati (100-120 dB) ottenuti con diversi stadi di amplificazione in cascata, il sistema è intrinsecamente soggetto a variazioni di guadagno.

Queste variazioni possono mimare una variazione di segnale in ingresso al ricevitore, che risulta indistinguibile da una variazione di segnale captato dall'antenna.

Se scriviamo  $W + \Delta W$  per indicare la variazione della potenza in uscita dal ricevitore abbiamo che

$$W + \Delta W = (T_A + \Delta T_A + T_{RN}) \cdot k \cdot G \cdot \Delta v = (T_A + T_{RN}) \cdot k \cdot (G + \Delta G) \cdot \Delta v \quad \text{INDISTINGUIBILI}$$

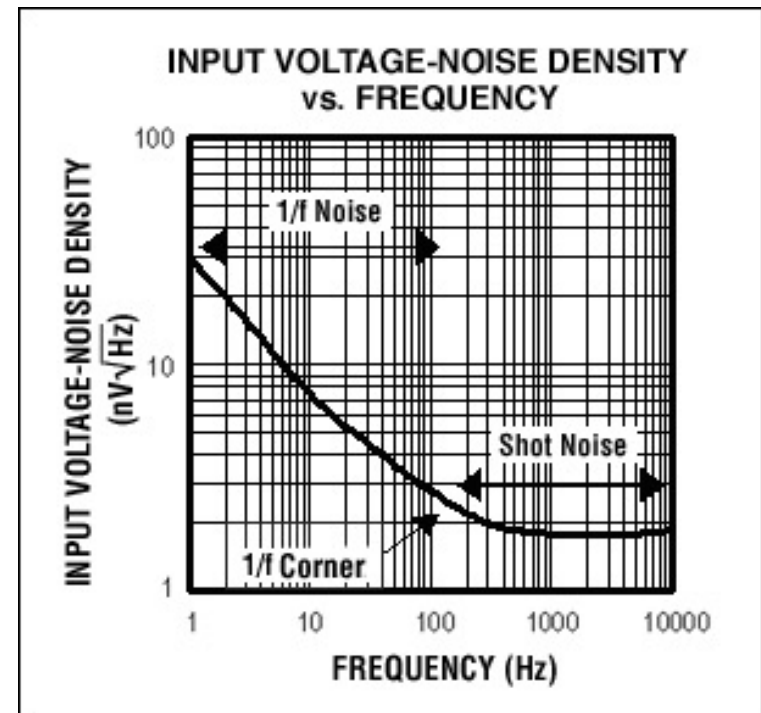
$$(T_A + T_{RN}) \cdot \Delta G = \Delta T_A \cdot G \quad \text{cioè} \quad \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta G}{G}$$

Le variazioni di guadagno nei sistemi elettronici hanno una densità spettrale di potenza che va come

$$\left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2 \propto \frac{1}{f^\alpha} \quad \text{con } f = \frac{1}{t}$$

dove  $t$  è il tempo scala su cui osserviamo la di variabilità del guadagno.

Su tempi scala lunghi (basse frequenze corrispondenti) ci si deve aspettare fluttuazioni di guadagno che emergono dal rumore gaussiano (che decresce col tempo)



## Strumentazione Astronomica: Radioastronomia

Per limitare gli effetti negativi delle fluttuazioni di guadagno si usano ricevitori di tipo differenziale (Dicke) che registrano la differenza tra il segnale proveniente dall'antenna e quello proveniente da una sorgente di riferimento

$$W_A = (T_A + T_{RN}) \cdot k \cdot G \cdot \Delta\nu \quad \text{Segnale dell'Antenna}$$

$$W_{Ref} = (T_{Ref} + T_{RN}) \cdot k \cdot G \cdot \Delta\nu \quad \text{Segnale del Riferimento}$$

$$W_A - W_{Ref} = (T_A - T_{Ref}) \cdot k \cdot G \cdot \Delta\nu$$

Se riscriviamo l'uguaglianza tra le variazioni di segnale e le fluttuazioni di guadagno in questa configurazione

$$(T_A + \Delta T_A - T_{Ref}) \cdot k \cdot G \cdot \Delta\nu = (T_A - T_{Ref})(G + \Delta G) \cdot k \cdot \Delta\nu$$

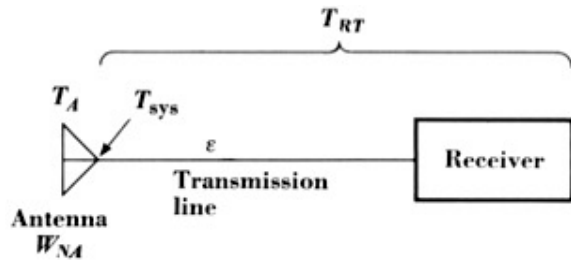
cioè

$$\frac{\Delta T}{T_{Sys}} = \frac{\Delta G}{G} \frac{T_A - T_{Ref}}{T_{Sys}} \quad \text{se } T_A \approx T_{Ref} \Rightarrow (T_A - T_{Ref}) \approx 0 \text{ e le fluttuazioni di guadagno sono annullate}$$

$$\Delta T_{\min} = \sqrt{\frac{(k_s T_{Sys})^2}{\tau \cdot \Delta\nu} + T_{\text{offset}}^2 \cdot \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2}$$

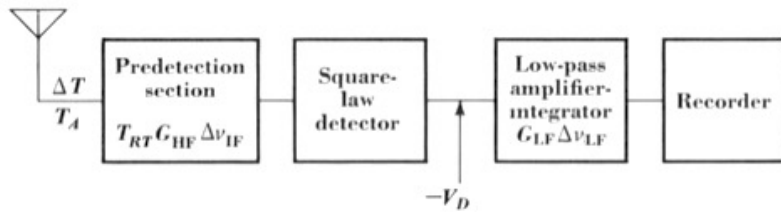
Equazione del Radiometro (aggiornata)

# Strumentazione Astronomica: Radioastronomia

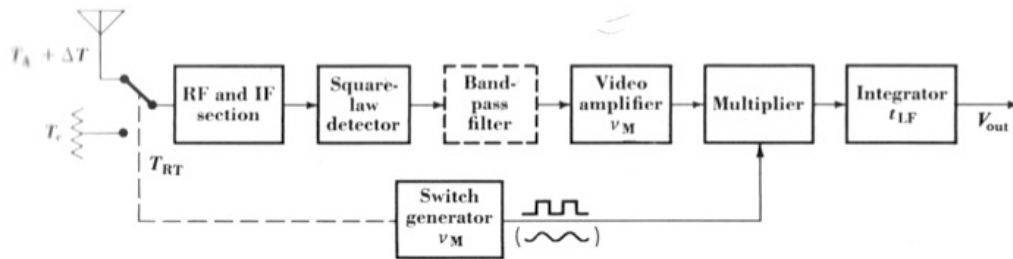


$$T_A^* = T_A e^{-\tau_{TL}} + T_{TL} (1 - e^{-\tau_{TL}})$$

**Fig. 7-7.** The antenna, transmission line, and receiver contribute to the system temperature.



**Fig. 7-8.** Total-power receiver.



**Fig. 7-13.** Switched or Dicke receiver (bandpass filter optional).

Ricevitore tipo Dicke  
 Efficienza di osservazione  
 del cielo 50%