

A.R.I.

Sezione di Parma

TEMPERATURA D'ANTENNA

Rumore d'antenna, origine ed effetti sul rapporto S/N
nelle applicazioni via satellite o in radioastronomia

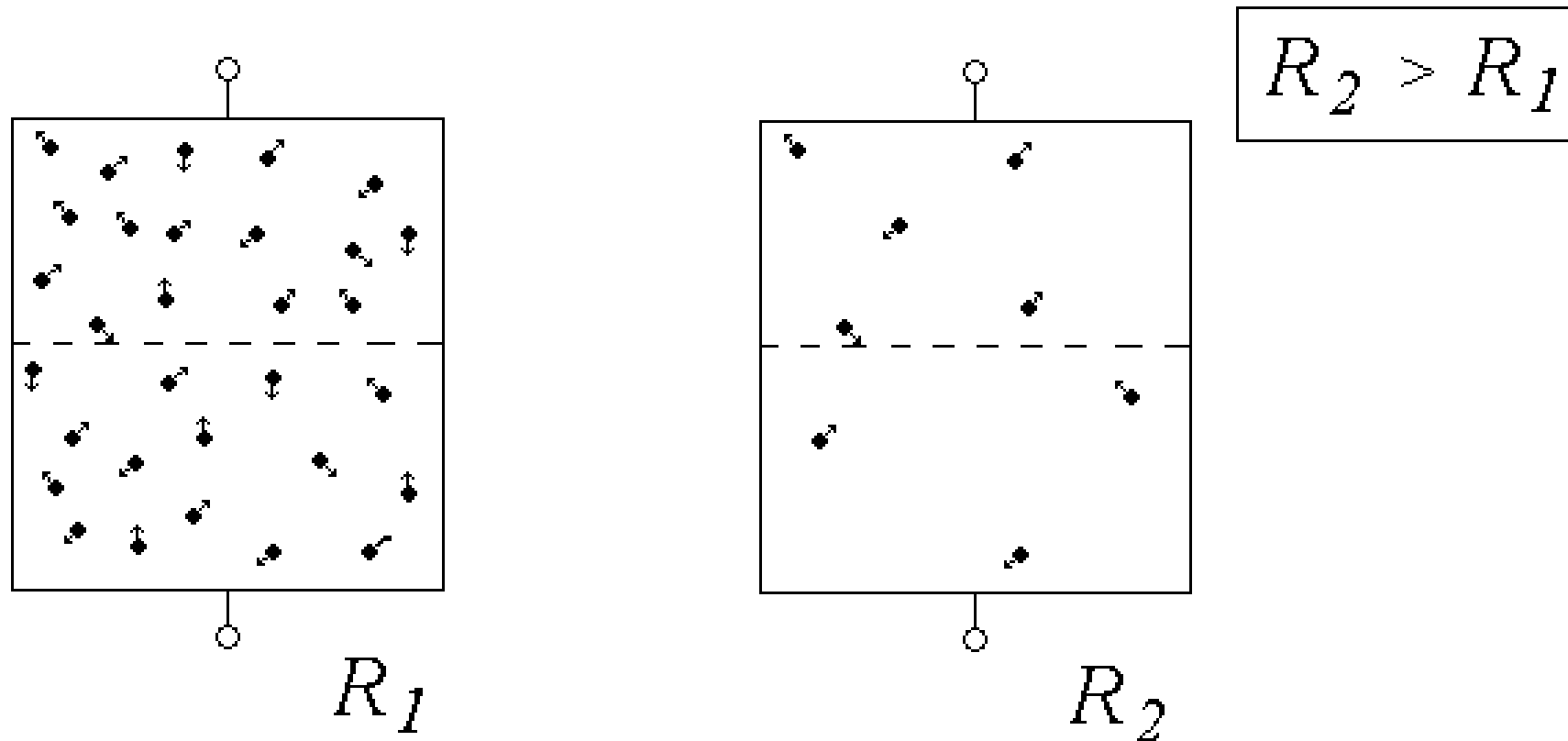
5 novembre 2010, ore 21 - Carlo, I4VIL

Per ogni problema complesso si trova sempre
una soluzione semplice e rapida.....
che è invariabilmente sbagliata.

For every complex problem there exists a quick
and easy answer.....
and it is invariably wrong.

State contenti, umana gente, al quia;
chè, se potuto aveste veder tutto,
mestier non era parturir Maria.."

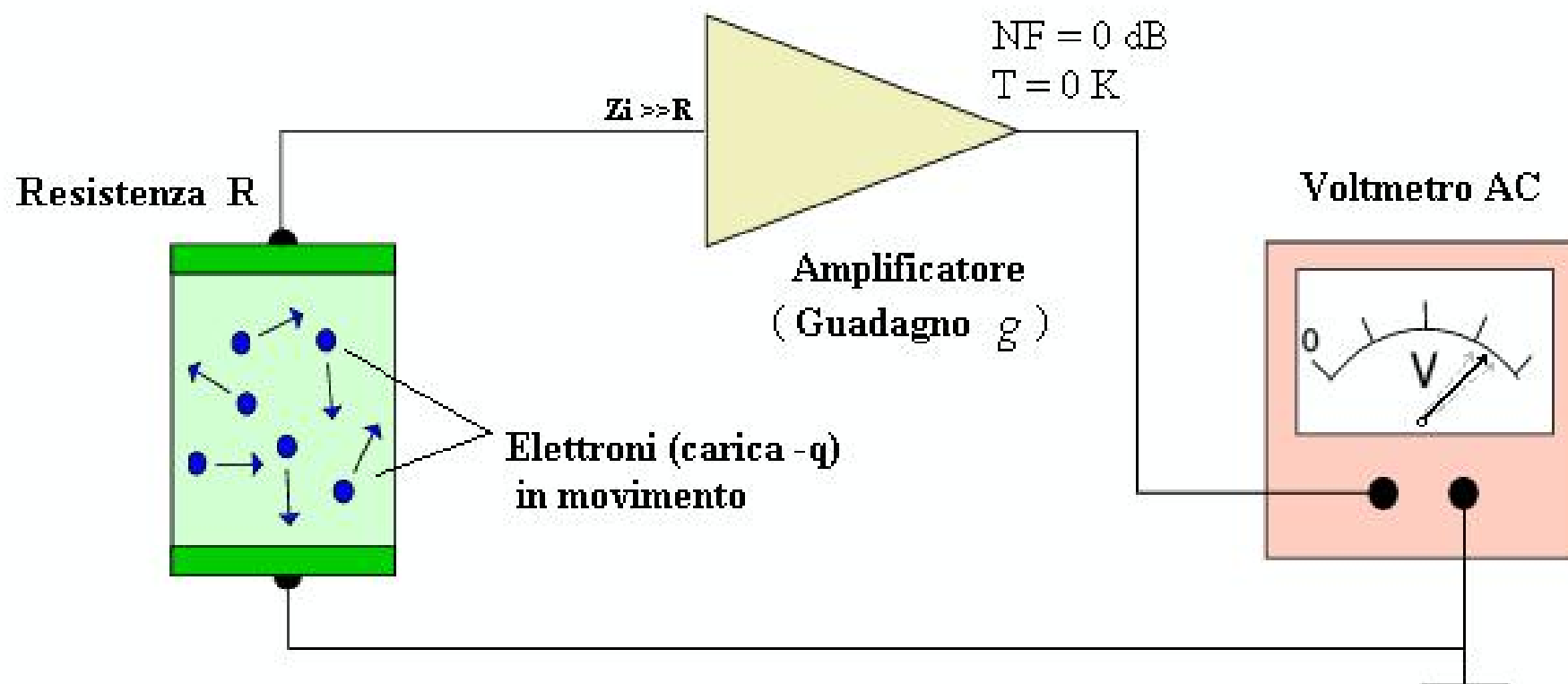
Dante - "Purgatorio" - canto III – vv. 37 / 39



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

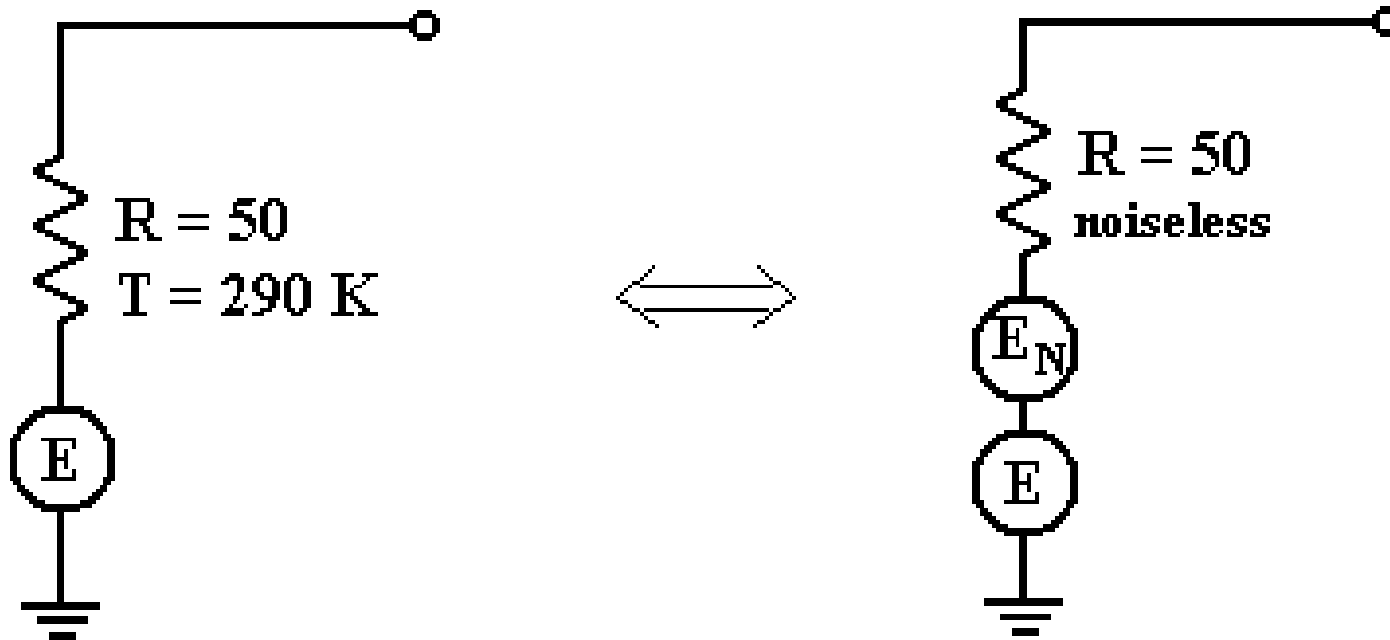
Dato il movimento completamente casuale degli elettroni (agitazione termica), il valore istantaneo del numero di elettroni nelle due metà può cambiare (seppur di poco) con probabilità tanto maggiore quanto è basso il numero totale di elettroni.

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



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

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



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:

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

La potenza trasferibile ad un carico adattato è: $P_N = k T \Delta f$

(indipendente da R)

La potenza di rumore per unità di banda disponibile ai capi di una resistenza R a temperatura T è data da:

$$w = kT \quad [W \text{ Hz}^{-1}]$$

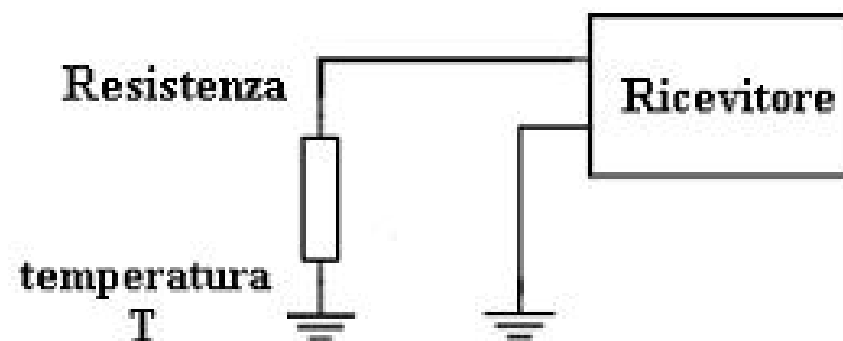
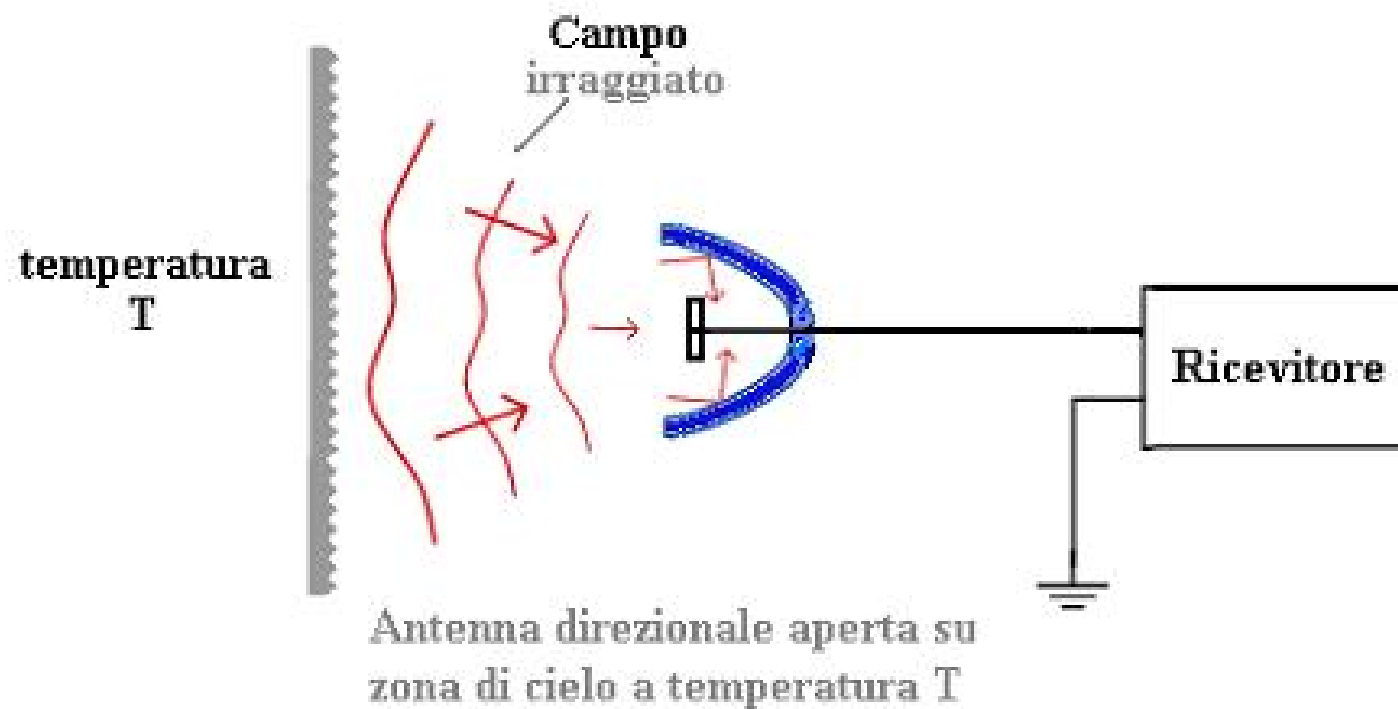
Se sostituiamo la resistenza R con un'antenna che presenta ai suoi terminali la stessa impedenza R, la potenza di rumore disponibile ai suoi capi sarà quella dovuta alla brillantezza corrispondente alla temperatura T della regione da cui l'antenna sta ricevendo la radiazione.

La temperatura di rumore dell'antenna si ottiene integrando tutti i contributi di tutte le regioni irradianti pesati dal guadagno dell'antenna stesso nella direzione corrispondente.

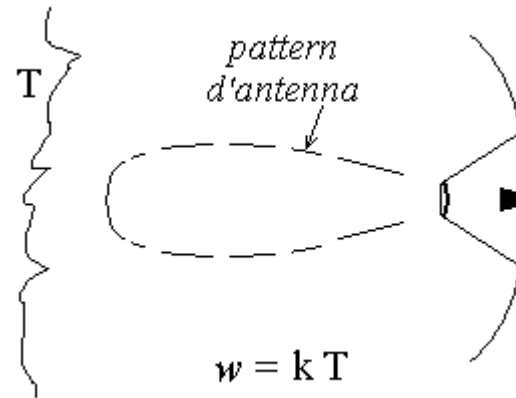
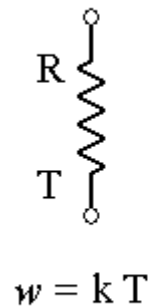
$$T_A = \frac{1}{4\pi} \iint T_{br}(\theta, \phi) \cdot G(\theta, \phi) \cdot d\Omega$$

C'è proporzionalità tra potenza di rumore P_n
e la temperatura T .

Per quantificare il rumore, perciò, può essere
utilizzata la temperatura T (in gradi K).



Circuito
equivalente



La temperatura della resistenza radiativa dell'antenna è determinata dalla temperatura della regione emittente che l'antenna vede attraverso il suo pattern direzionale e non dalla temperatura fisica dell'antenna stessa

**La temperatura della *resistenza radiativa* è chiamata
temperatura d'antenna T_A**

TEMPERATURA DI SISTEMA T_{Sys} .

$$T_{\text{Sys}} = T_A + T_e$$

dove: T_A = temperatura d'antenna

T_e = temperatura equivalente di rumore del ricevitore

TEMPERATURA D'ANTENNA

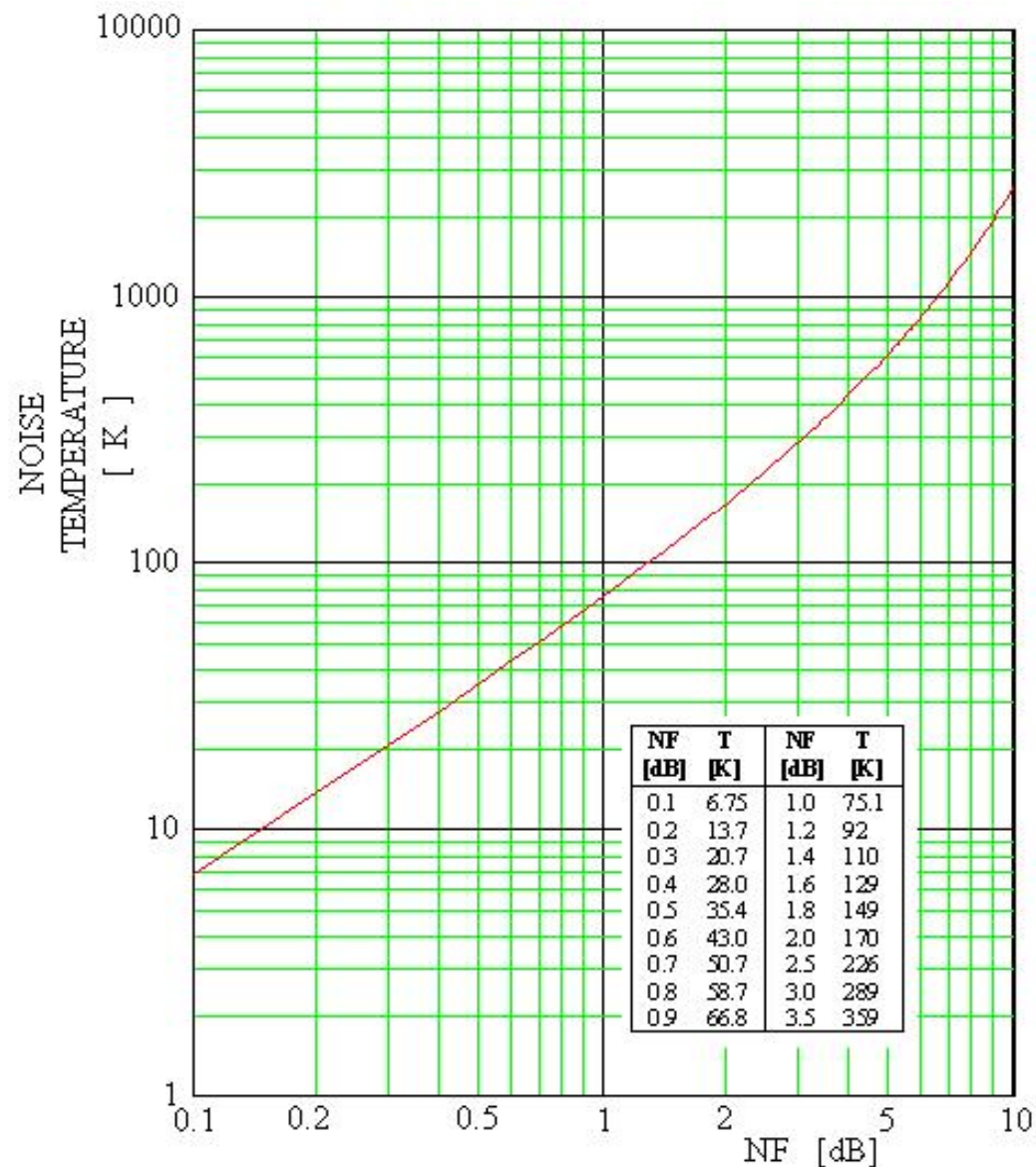
$$T_A(\theta, \phi) = T_S(\theta, \phi) + T_{\text{DIST.}}(\theta, \phi) + T_{\text{GND}}(\theta) + T_{A_i}$$

T_S è la temperatura “osservata” del cielo nella direzione del lobo principale dell’antenna. Comprende anche il contributo del fondo cosmico a microonde (praticamente costante in tutte le direzioni) e tiene conto dell’eventuale effetto dell’attenuazione per il passaggio attraverso l’atmosfera terrestre,

$T_{\text{DIST.}}$ è il contributo dei disturbi atmosferici (naturali e non)

T_{GND} è il contributo di radiazione del terreno (funzione della elevazione q e del diagramma di radiazione dell’antenna).

T_{A_i} è il contributo dato dalle perdite dell’antenna stessa



RELAZIONE TRA TEMPERATURA EQUIVALENTE DI RUMORE E NF

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

La figura di rumore NF (Noise Figure) è il fattore di rumore F (noise Factor) espresso in dB:

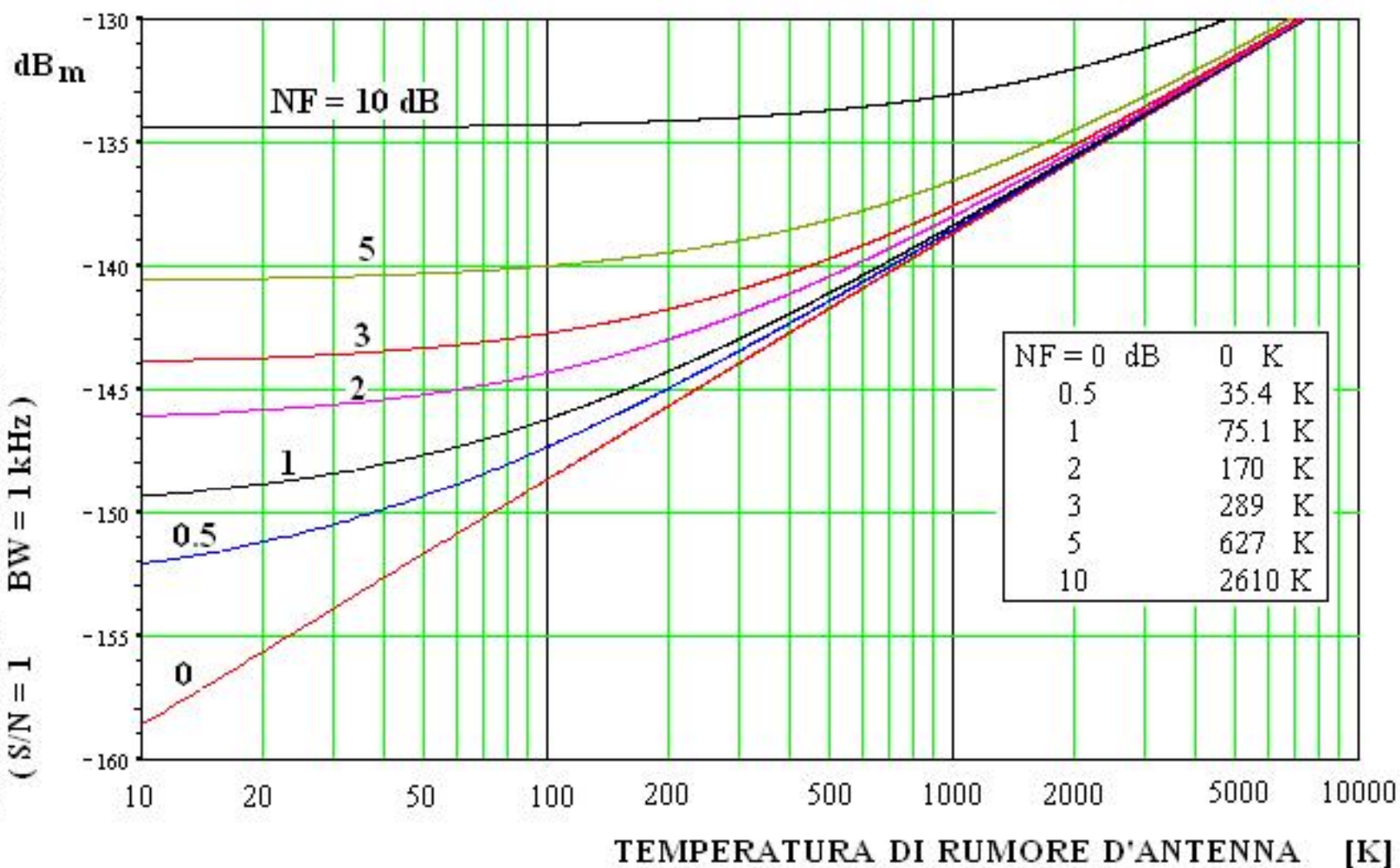
$$NF = 10 \log F.$$

Il noise factor $F = (S/N)_I / (S/N)_O$ esprime direttamente la degradazione del rapporto S/N di un segnale nel passaggio in un circuito elettrico (a 290 K).

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: $T_E = 290 (F-1)$.

SENSIBILITA' DEL SISTEMA DI RICEZIONE

($S/N = 1$ BW = 1 kHz)



Se la temperatura d'antenna è bassa (es.: $T_A = 10$ K), basta un piccolo miglioramento del NF del ricevitore (es.: di 0.5 dB, da NF=1 ad NF=0.5 dB) per migliorare la sensibilità del sistema di ricezione di circa 3 dB.

Se, invece, la temperatura d'antenna è elevata (es.: $T_A = 300$ K), lo stesso miglioramento dell' NF del ricevitore non porta ad un miglioramento apprezzabile della sensibilità.

Se si passa da un ricevitore ideale ($NF=0$ dB) ad un ricevitore con $NF= 10$ dB, la sensibilità del ricevitore diminuisce di 10 dB **se la temperatura d'antenna T_A è di 290 K (temperatura ambiente).**

Altrimenti la sensibilità diminuisce molto di più ($T_A \ll 290$ K)

ESEMPIO:

se $T_A = 10$ K la diminuzione è di circa 24 dB

se $T_A = 50$ K la diminuzione è di circa 17.5 dB

o di meno

ESEMPIO:

se $T_A = 3000$ K la diminuzione è di circa 3 dB

TEMPERATURA D'ANTENNA

$$T_A(\theta, \phi) = T_S(\theta, \phi) + T_{\text{DIST.}}(\theta, \phi) + T_{\text{GND}}(\theta)$$

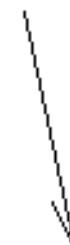


**temperatura delle sorgenti e
del fondo del cielo**

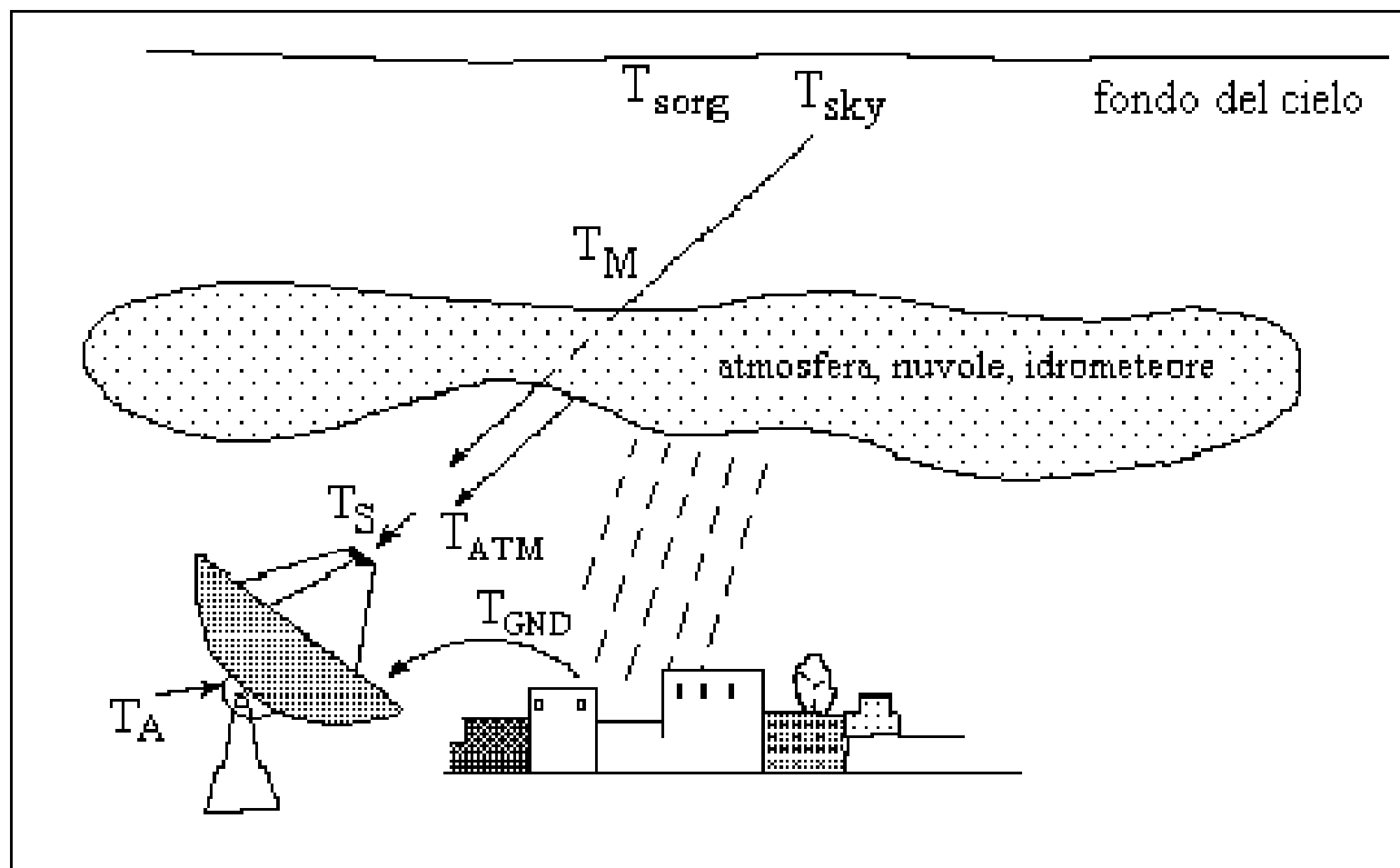
**radiazione cosmica di fondo
attenuazione passaggio atmosfera**



**generalmente trascurabili
in VHF e microonde**



**lobi secondari in direzione
di regioni "calde" (terreno)**



DATE IMPORTANTI

ETA' DELL' UNIVERSO : $13.7 \pm 0.2 \cdot 10^9$ anni

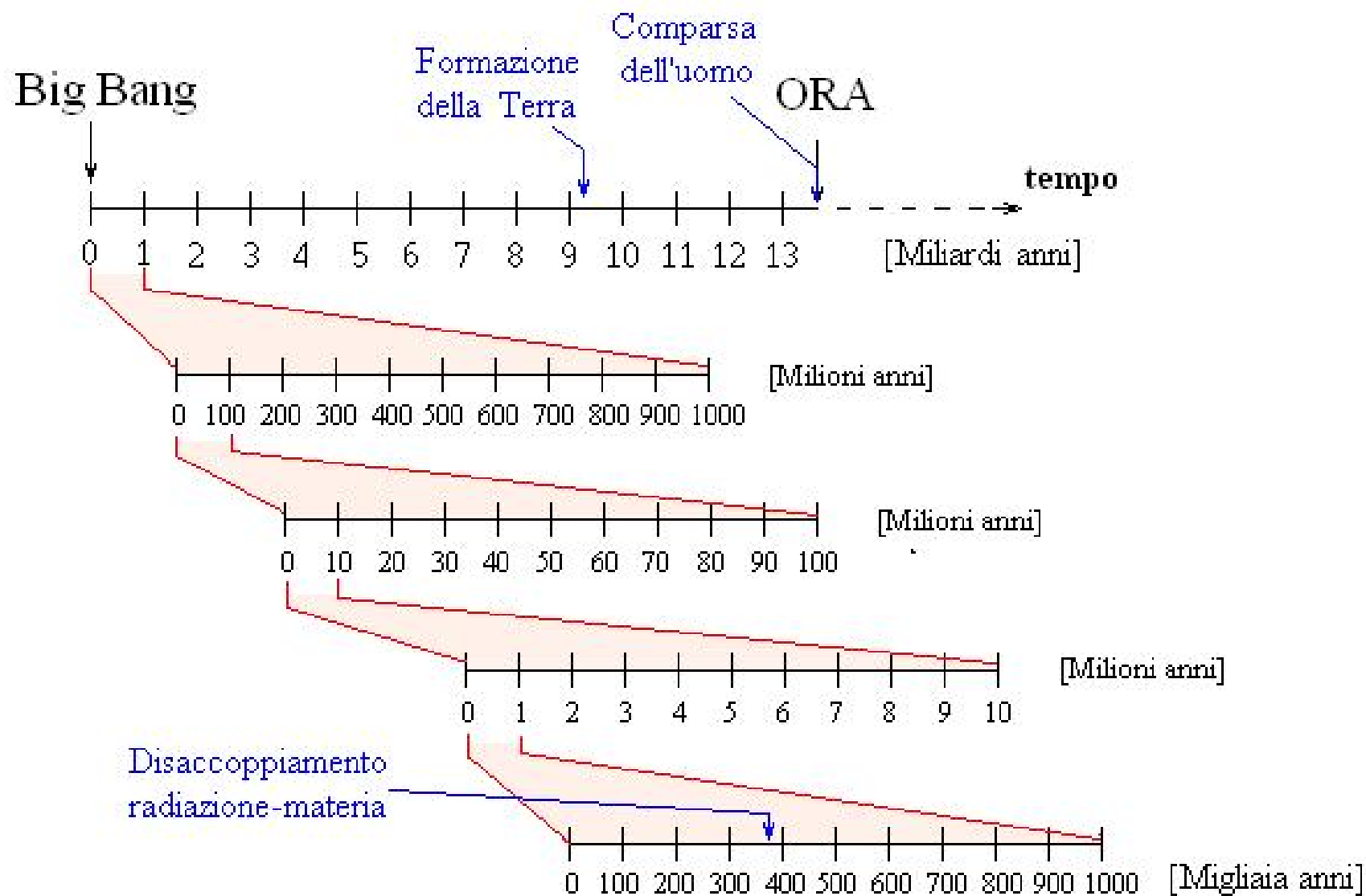
ETA' DELLA VIA LATTEA : $\begin{cases} 13.2 \cdot 10^9 & \text{anni (alone di polveri)} \\ 8.8 \cdot 10^9 & \text{anni (disco galattico)} \end{cases}$

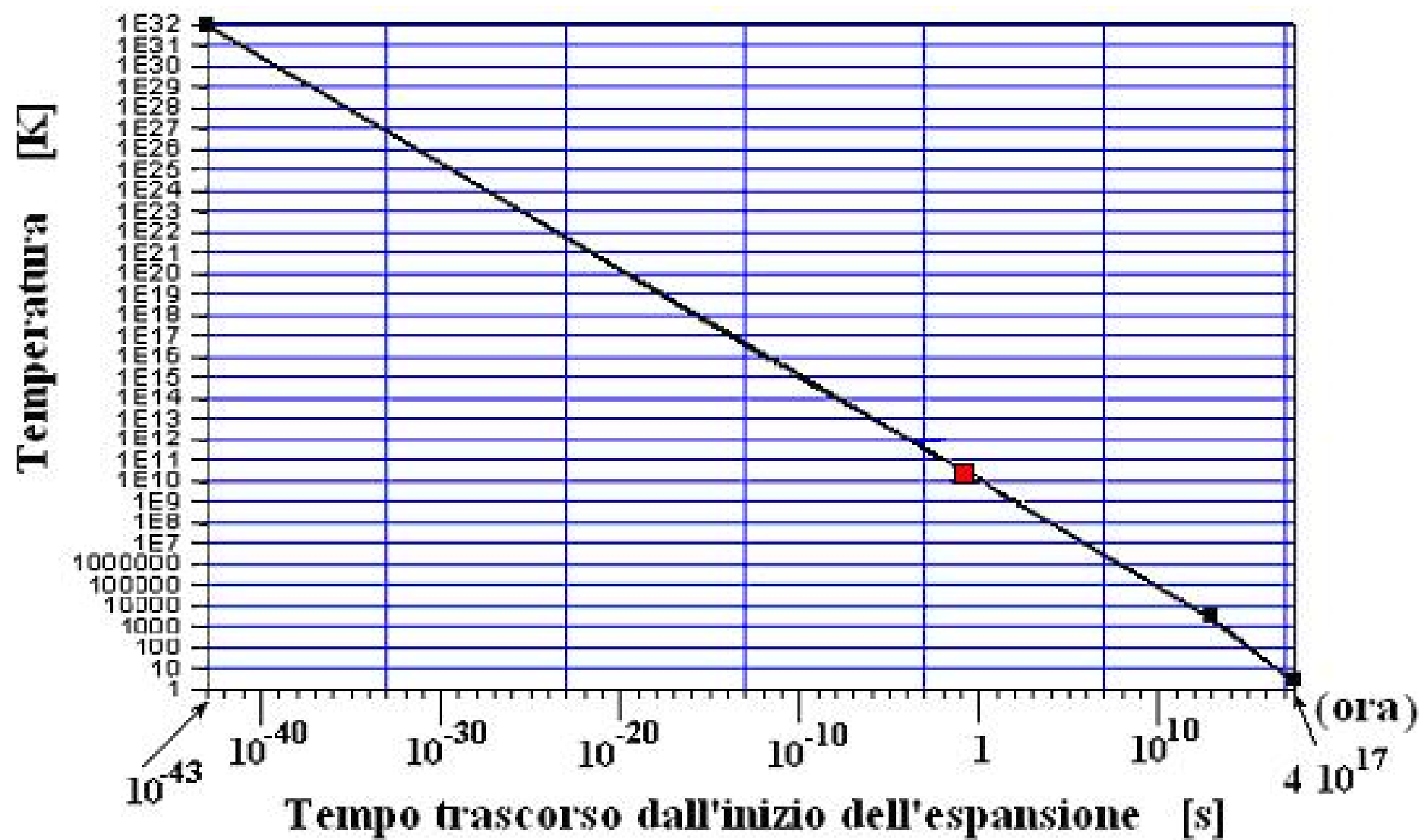
FORMAZIONE SISTEMA SOLARE : $4.57 \pm 0.05 \cdot 10^9$ anni fa

FORMAZIONE DELLA TERRA : $4.54 \pm 0.05 \cdot 10^9$ anni fa

COMPARSA DEI PRIMI HOMINIDI: $4 \pm 1 \cdot 10^6$ anni fa

COMPARSA DELL' *homo sapiens sapiens*: $35 \cdot 10^3$ anni fa





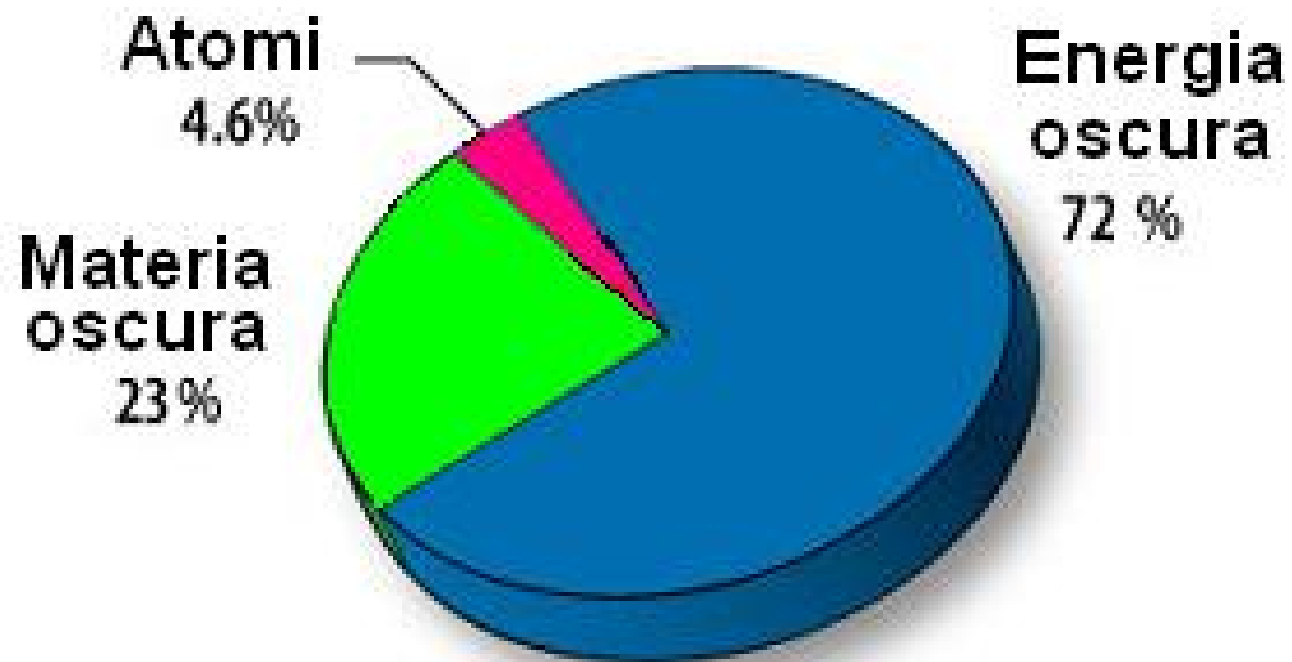
Temperatura dell'Universo in funzione del tempo trascorso dal big bang.

Le teorie note non consentono la descrizione per $t < 10^{-43}$ s.

Attorno a 10^{-10} s anche le forze elettromagnetica e debole si separano formando, con la forza gravitazionale e forte, i quattro tipi di forze che oggi conosciamo.

In evidenza il tempo della scomparsa dell'antimateria (quadrato rosso) ed il tempo dell'ultima ricombinazione (quadrato nero), quando l'Universo divenne trasparente (circa 380000 anni dopo il big bang).

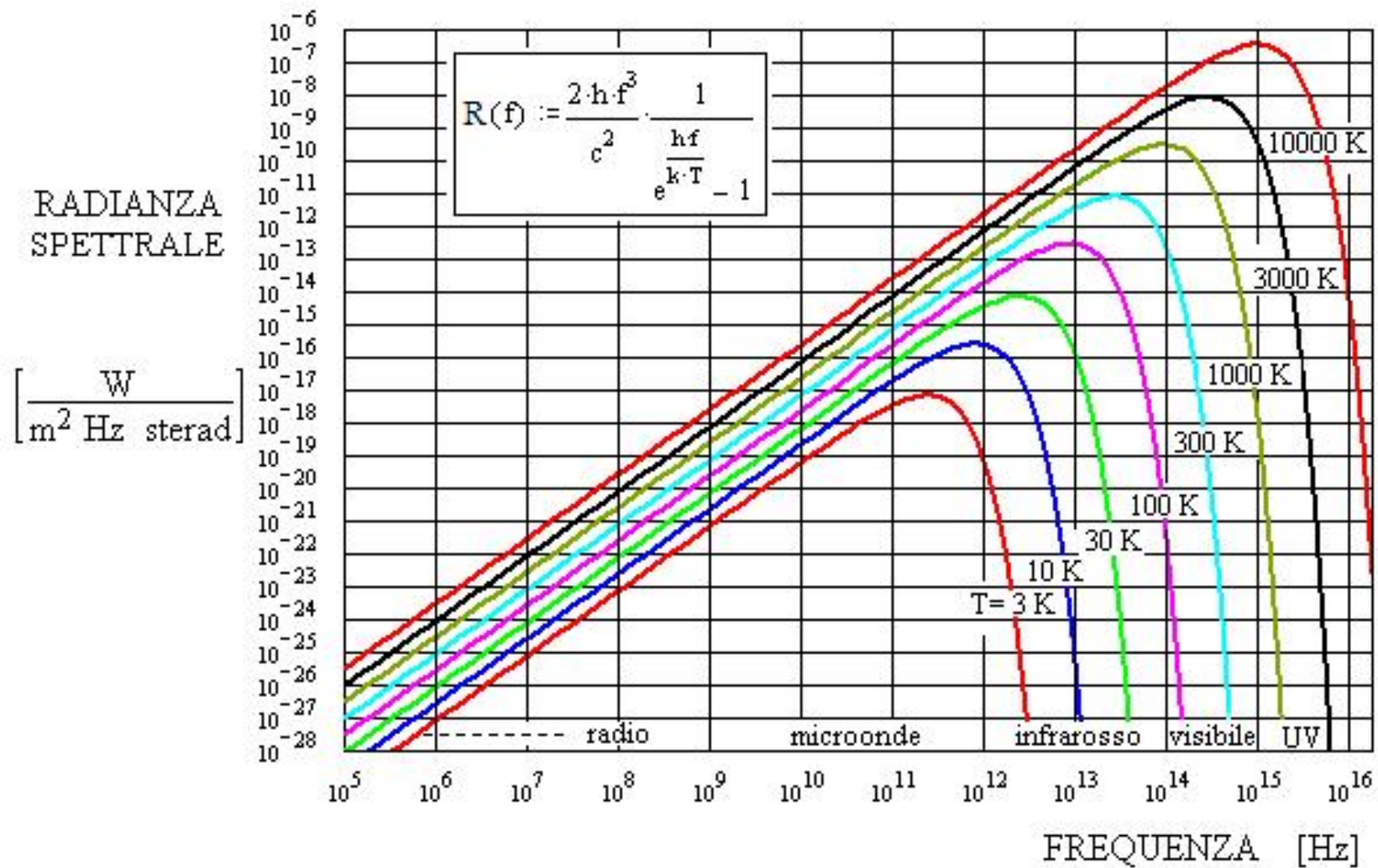
Notare la variazione di pendenza, da qui in poi, dovuta al disaccoppiamento della radiazione dalla materia.



**Composizione dell'Universo,
oggi.**

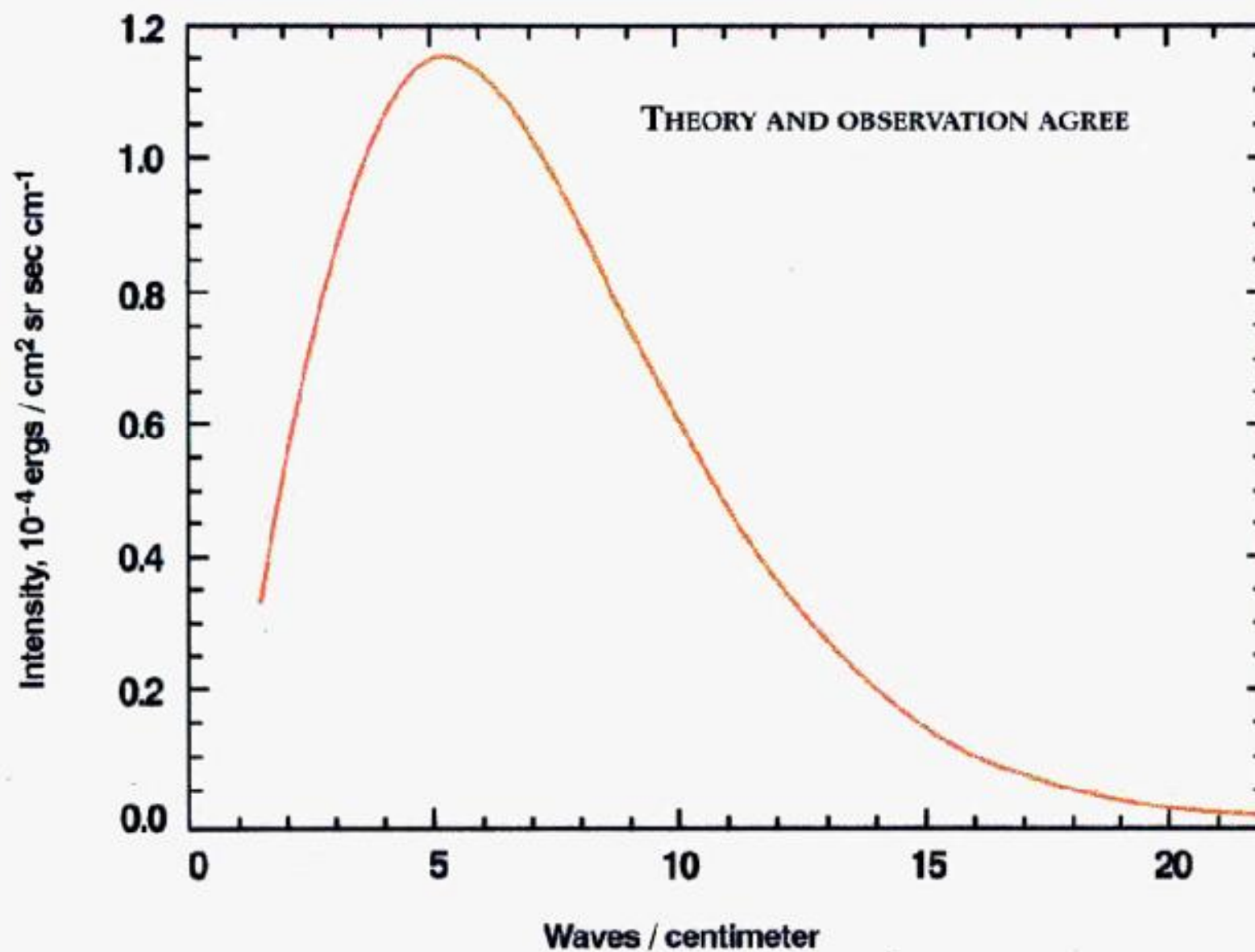
CORPO NERO

Corpo che è un perfetto assorbitore di radiazione. Assorbe qualunque radiazione incidente, di qualsiasi frequenza, senza alcuna riflessione e riemette la energia assorbita con uno spettro elettromagnetico caratteristico che è funzione solo della temperatura.



Spettri di corpo nero per alcune temperature.

COSMIC MICROWAVE BACKGROUND SPECTRUM FROM COBE



La curva continua mostra l'intensità prevista per uno spettro di corpo nero ad una precisa temperatura, come previsto dalla teoria del Big Bang.

I dati ottenuti dal FIRAS fittano la curva teorica così bene che le incertezze sono più piccole delle dimensioni della traccia. La temperatura osservata è di 2.726 K.

(Mather J.C. *et al* , Measurement of the cosmic microwave background spectrum by the COBE FIRAS instrument. - *Astrophys. J.* **420**, 439-444 (1994).)

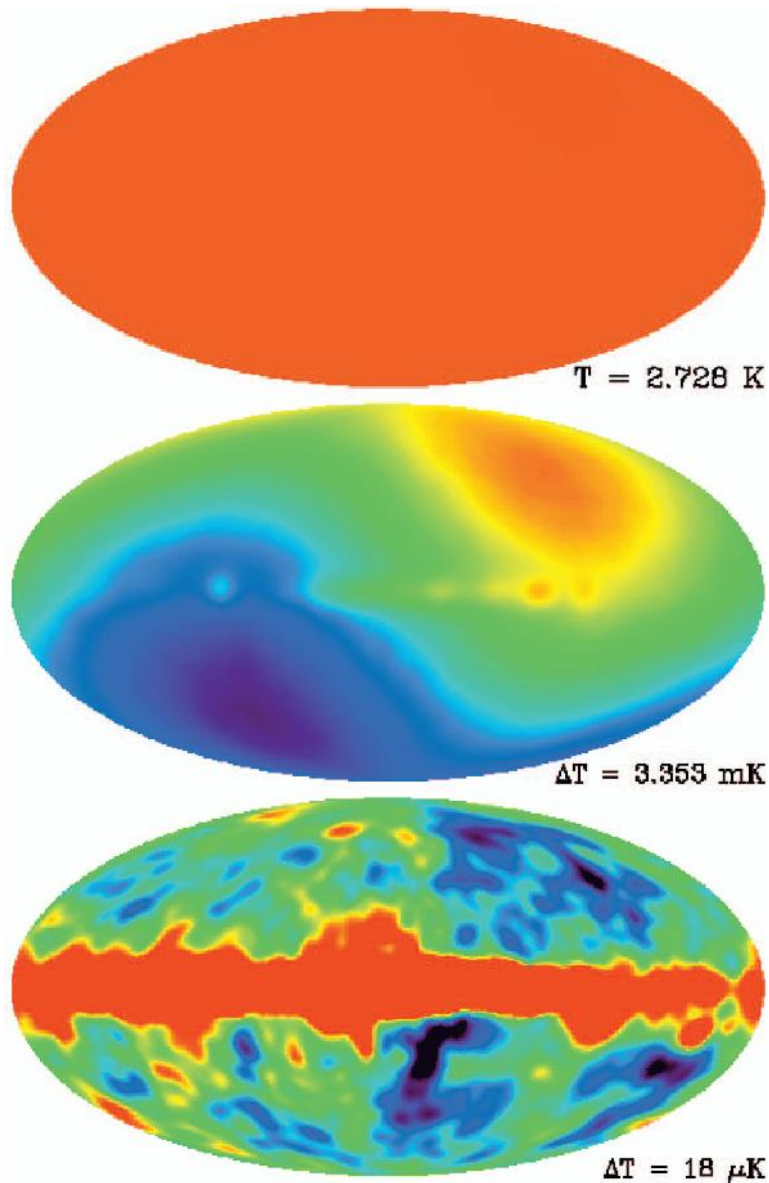
(George F.Smoot - Nobel Lecture: Cosmic microwave background radiation anisotropies: Their discovery and utilization. *Rev.Mod.Phys.* **79**, 1349-1379 (2007)).

Mappa della radiazione cosmica di fondo a microonde (CMB).

A livello di centesimo di grado la mappa mostra una radiazione uniforme da tutte le direzioni del cielo. Aumentando la sensibilità a livelli dei mK, la mappa mostra una certa *pattern* dovuto al moto relativo del nostro sistema solare rispetto al sistema di riferimento della CMB.

Aumentando ancora la sensibilità a livello dei μK , dopo la sottrazione delle componenti note dovute al moto del nostro sistema di riferimento, diviene molto evidente una certa anisotropia della temperatura del fondo. Queste piccole fluttuazioni attorno al valore medio danno importanti informazioni sullo stato dell'universo primordiale (confermano il modello Big Bang e sono necessarie per spiegare la successiva formazione delle galassie).

(George F. Smoot - Nobel Lecture: Cosmic microwave background radiation anisotropies: Their discovery and utilization. *Rev. Mod. Phys.* **79**, 1349-1379 (2007)).



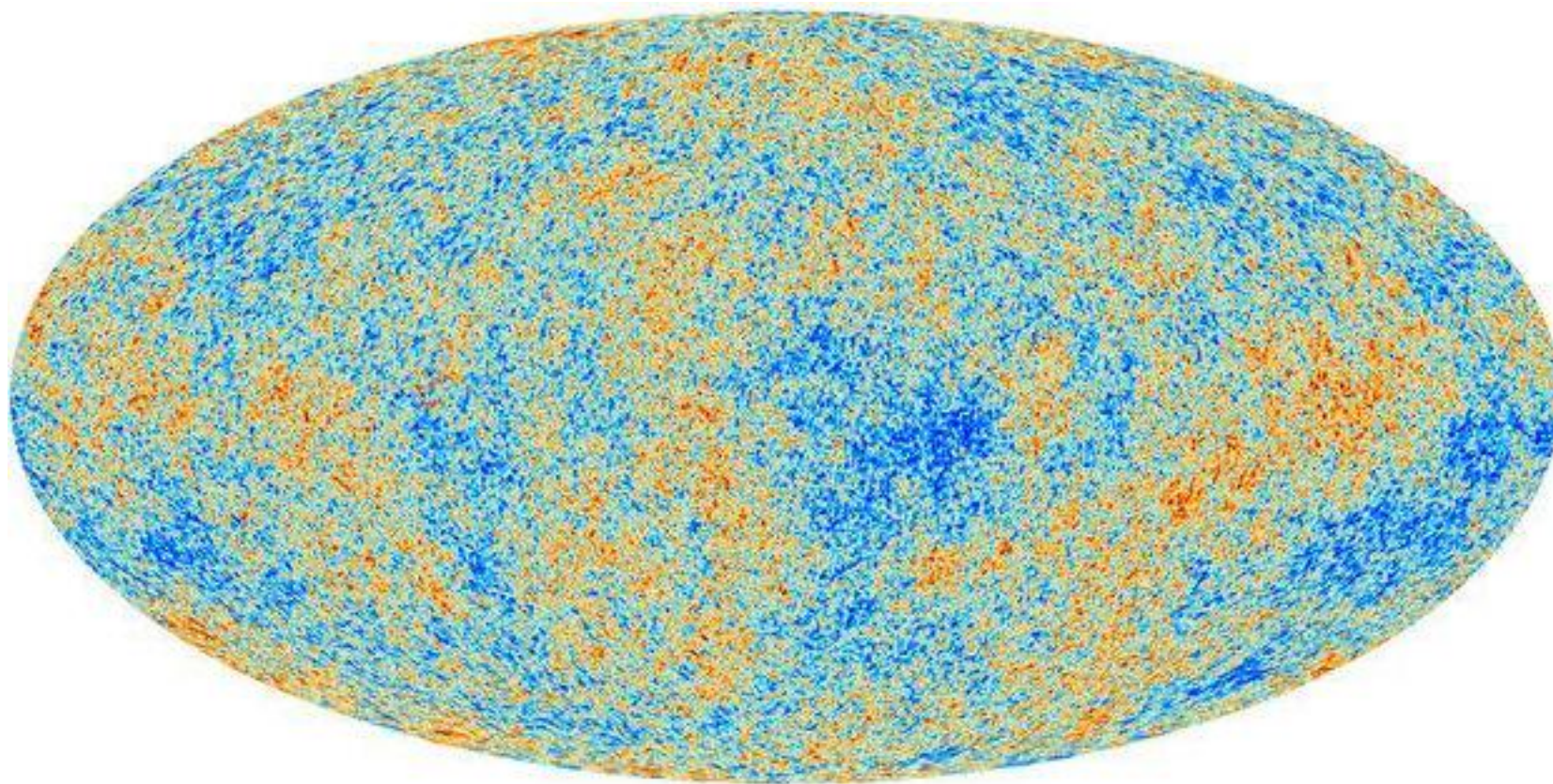
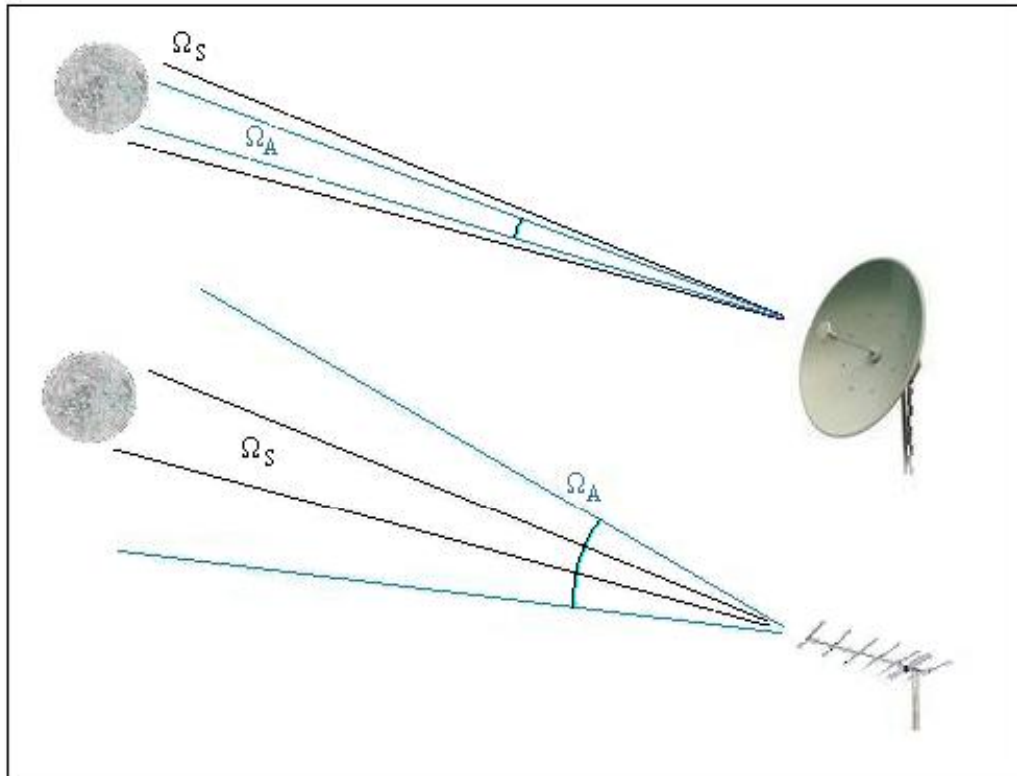


Immagine dell'Universo primordiale (circa 380000 anni dopo il Big Bang)
osservata dal telescopio spaziale Planck dell'European Space Agency - 2013.

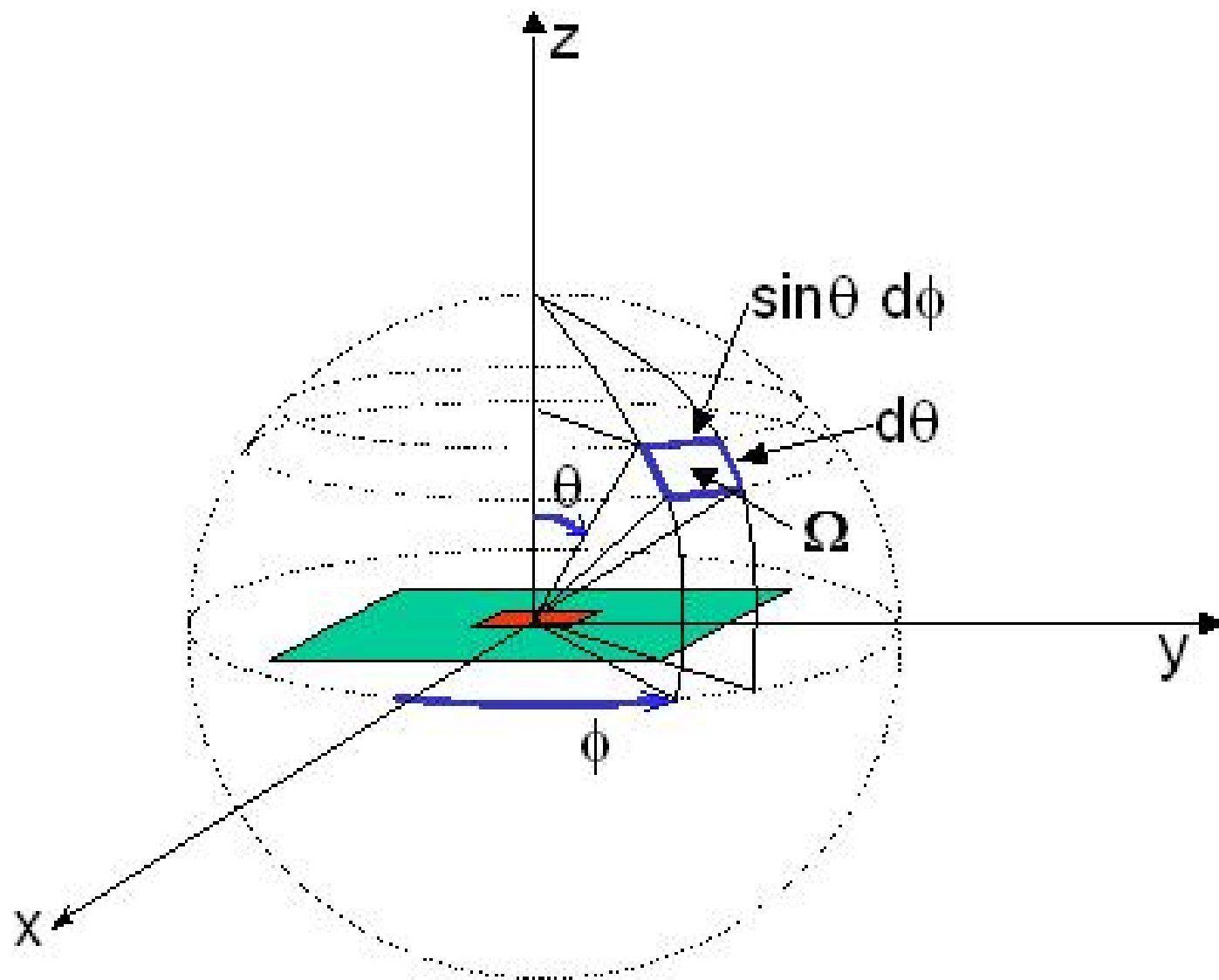
Albert Einstein nel 1905 pubblicò una rivoluzionaria teoria, la **Relatività speciale**, che definiva due postulati:

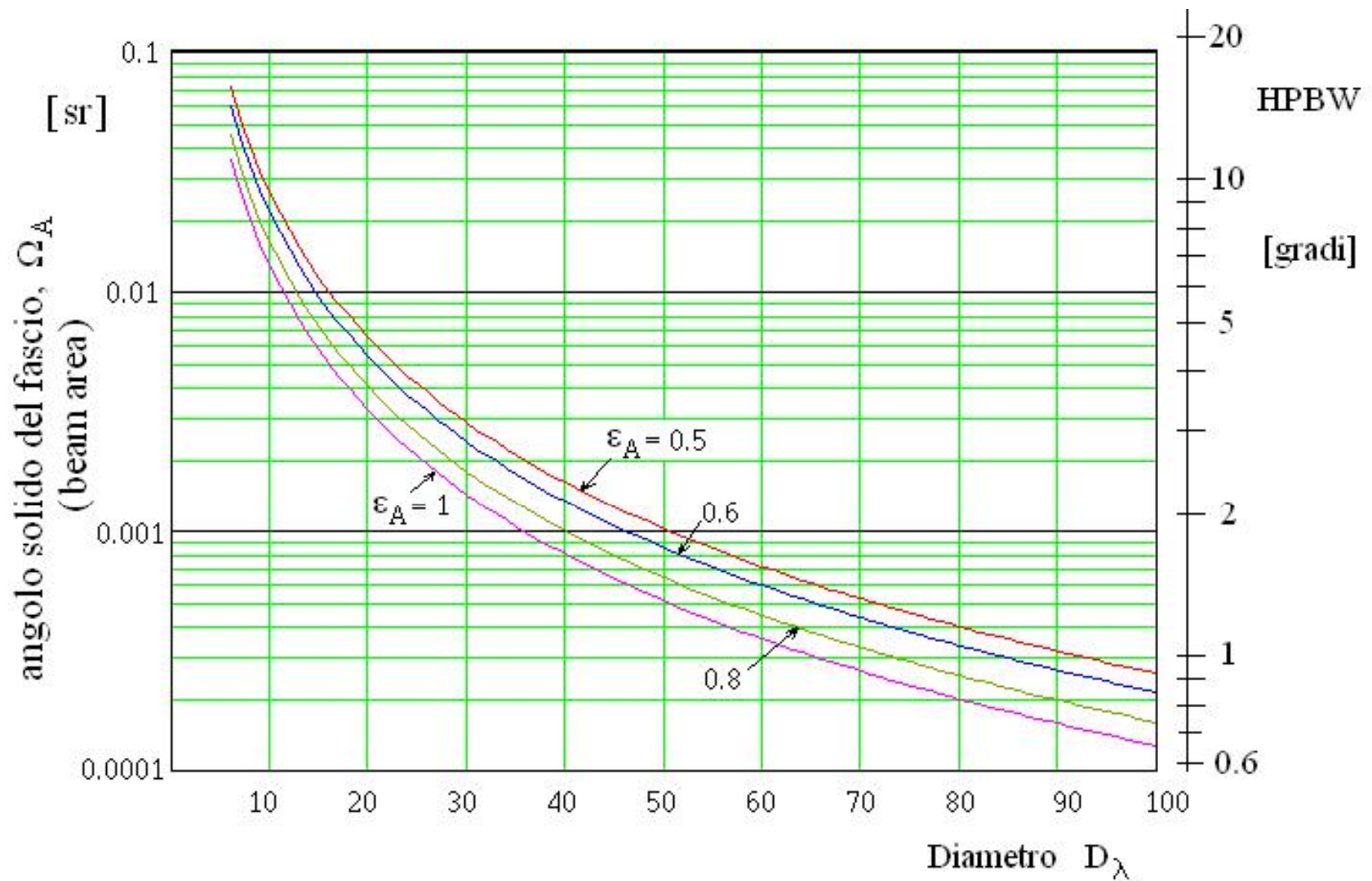
- 1) Le leggi fisiche sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali
- 2) La velocità della luce nel vuoto è sempre uguale ad una costante c , che misura 299.792.458 m/s

Questa teoria non è applicabile all'espansione dell'Universo.

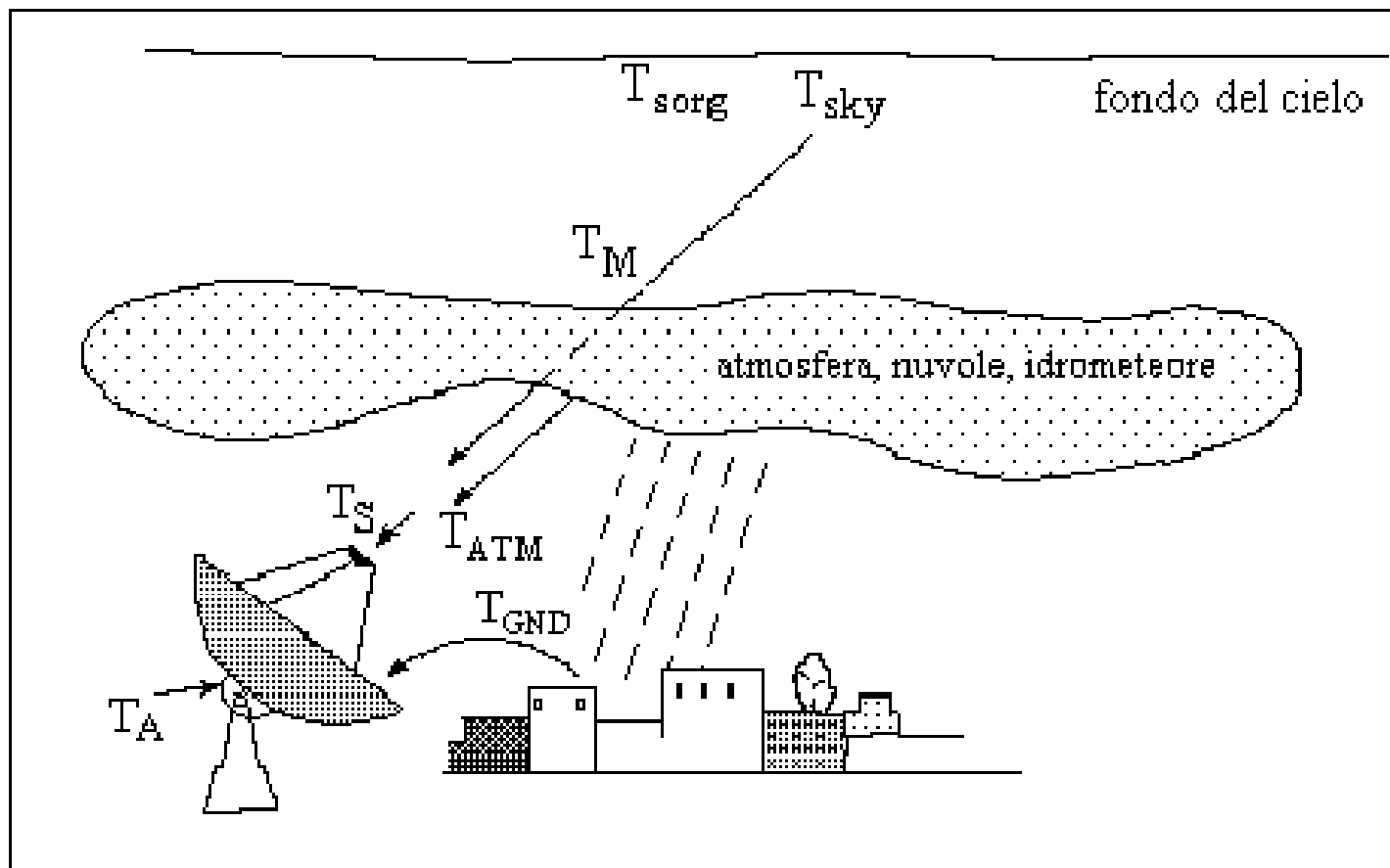


L'angolo solido sotto il quale si osserva la sorgente (Luna, per esempio) è sempre lo stesso (Ω_s), ma può cambiare, invece, l'angolo solido del lobo principale dell'antenna (Ω_A).

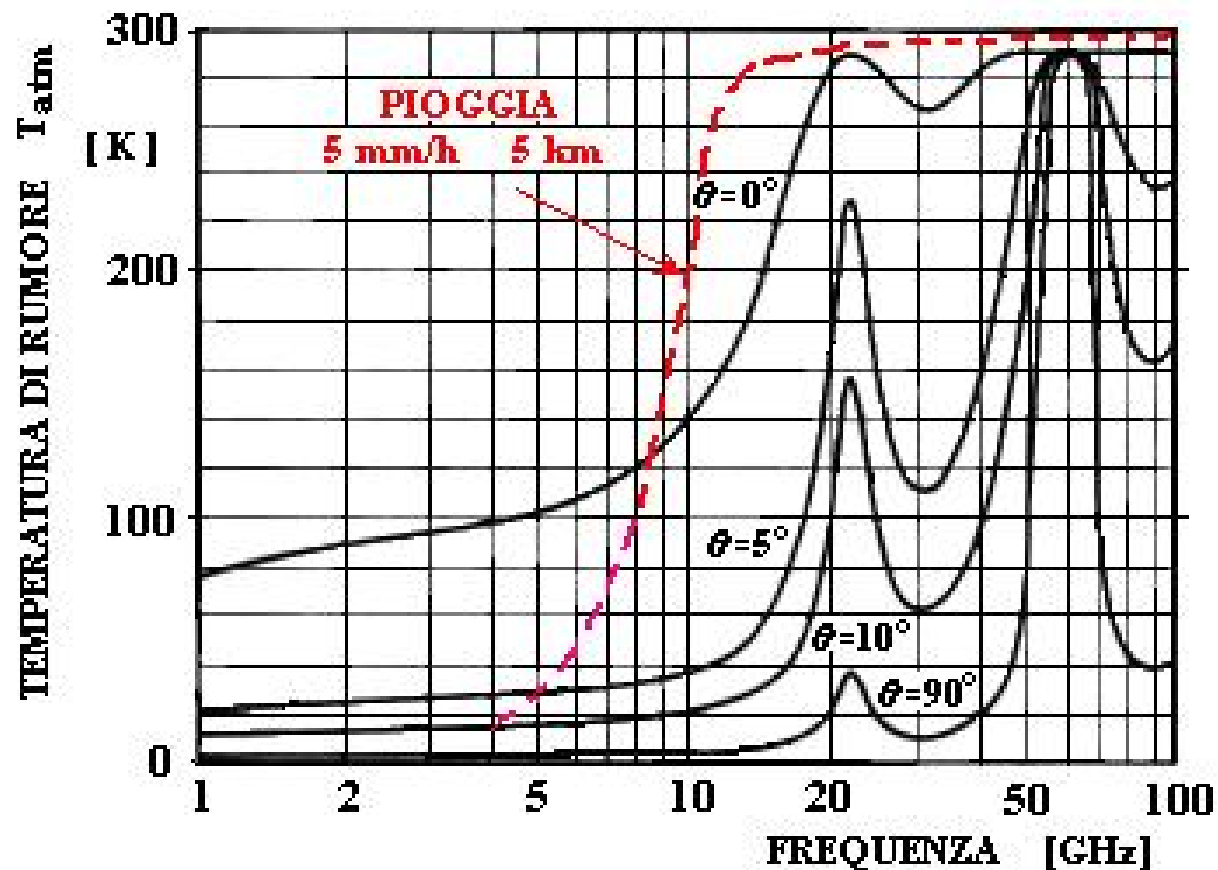




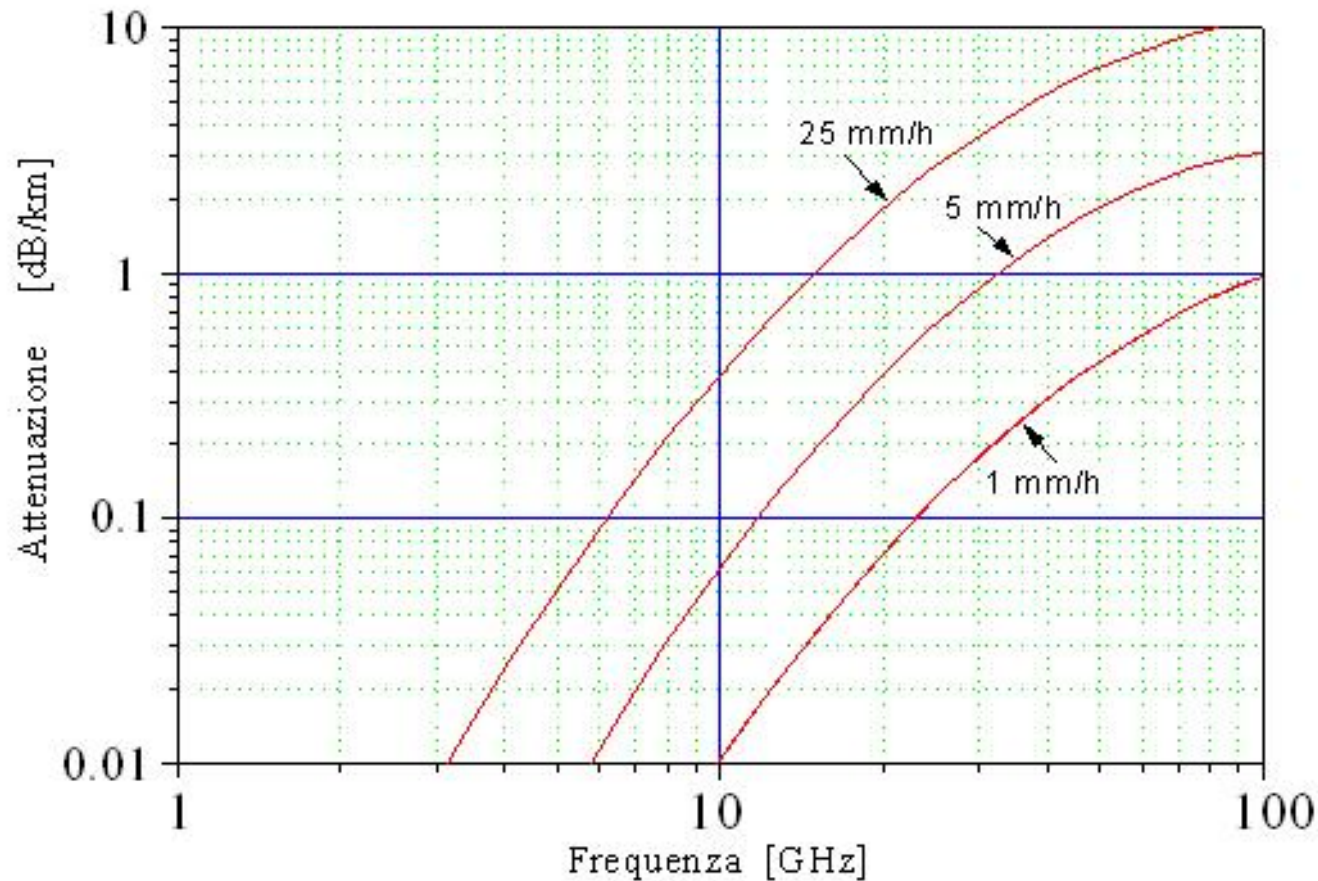
Angolo solido del fascio e HPBW in funzione del diametro in λ .



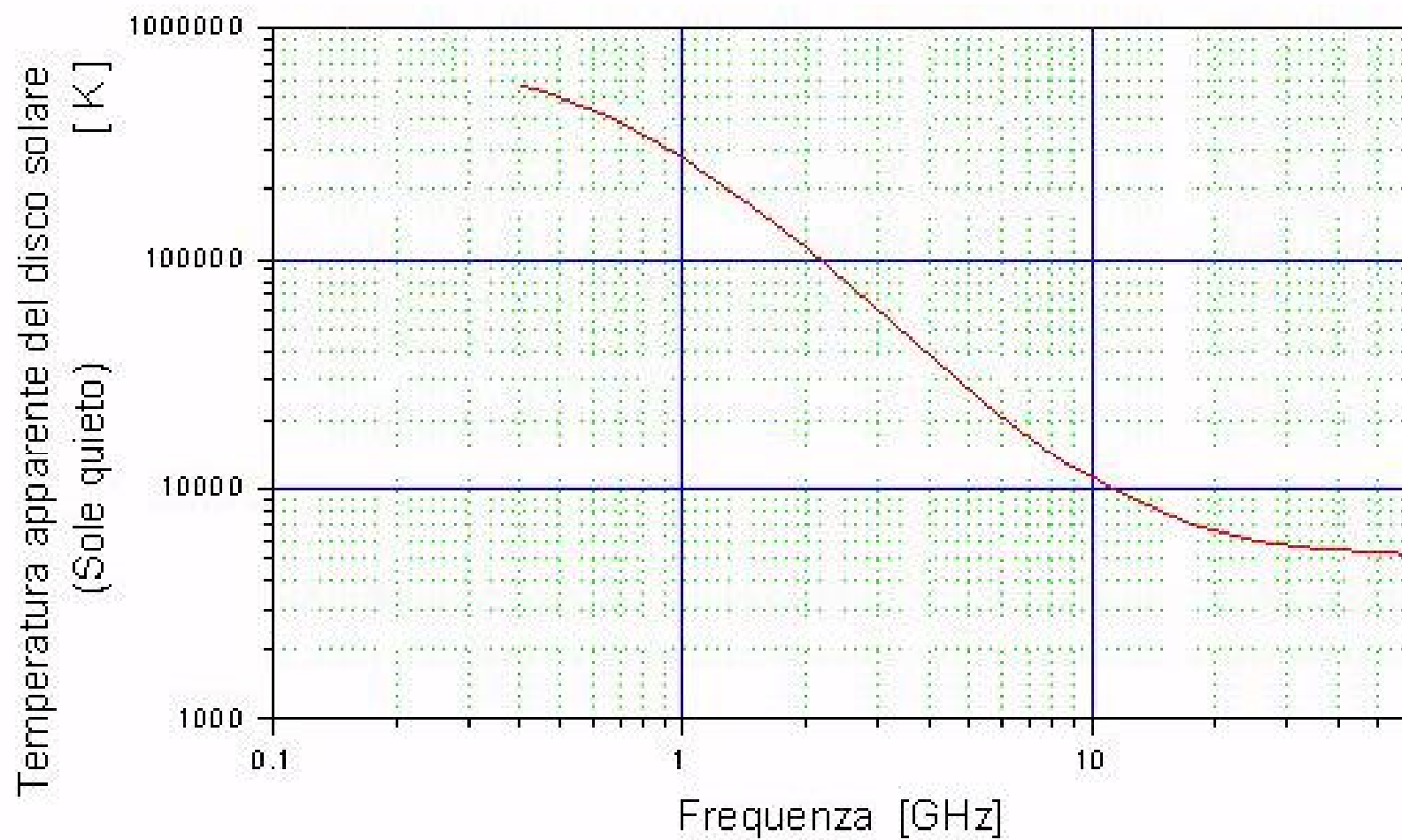
Alcune “temperature”

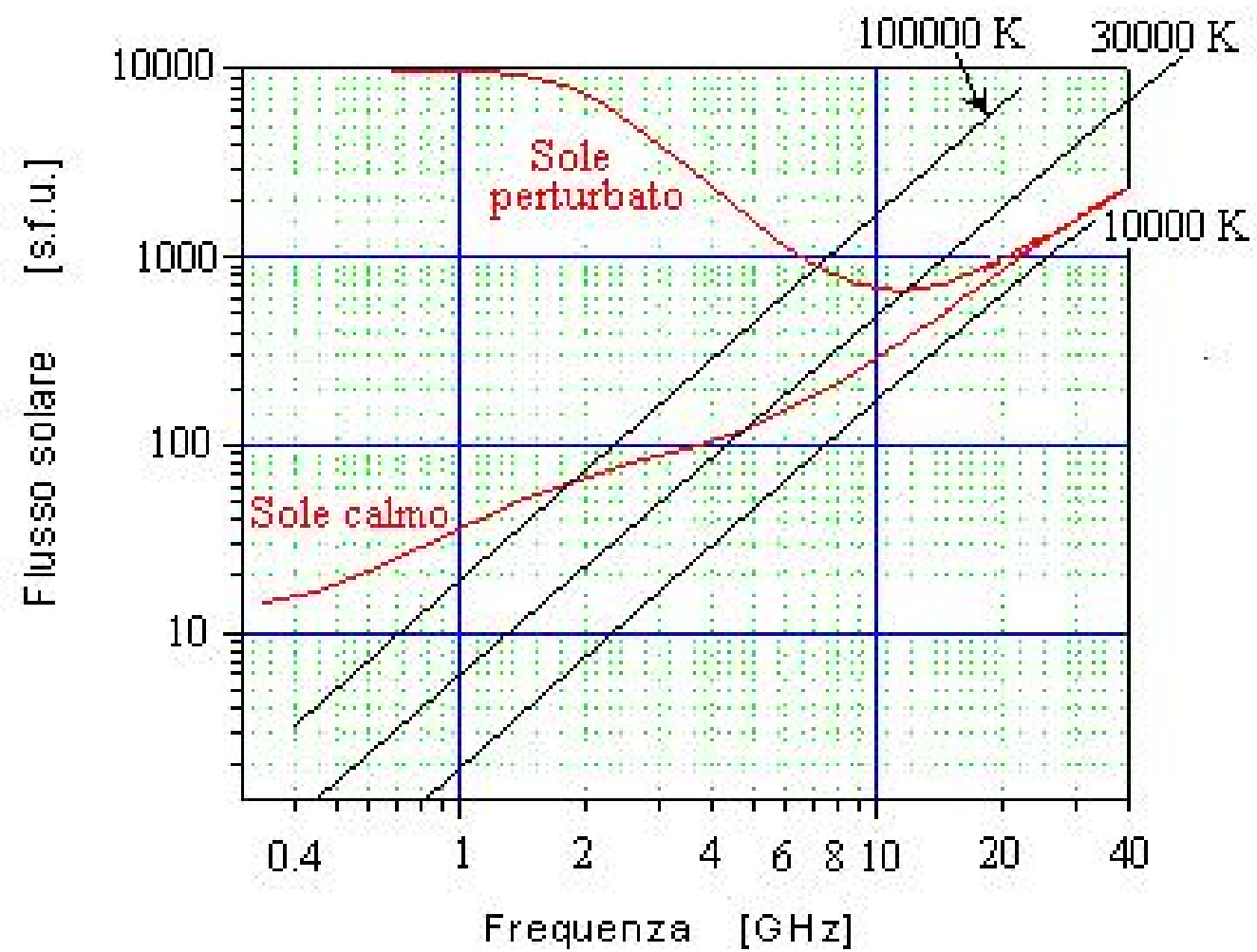


Temperatura di rumore T_{atm} dovuta alla attenuazione dei gas atmosferici in funzione dell'elevazione θ (a 20 C, 1013 hPa e con contenuto di vapore acqueo di 10 g/m³). I picchi di attenuazione attorno a 22 e 60 GHz sono dovuti ad assorbimento molecolare del vapore acqueo e dell'ossigeno presenti nell'atmosfera.



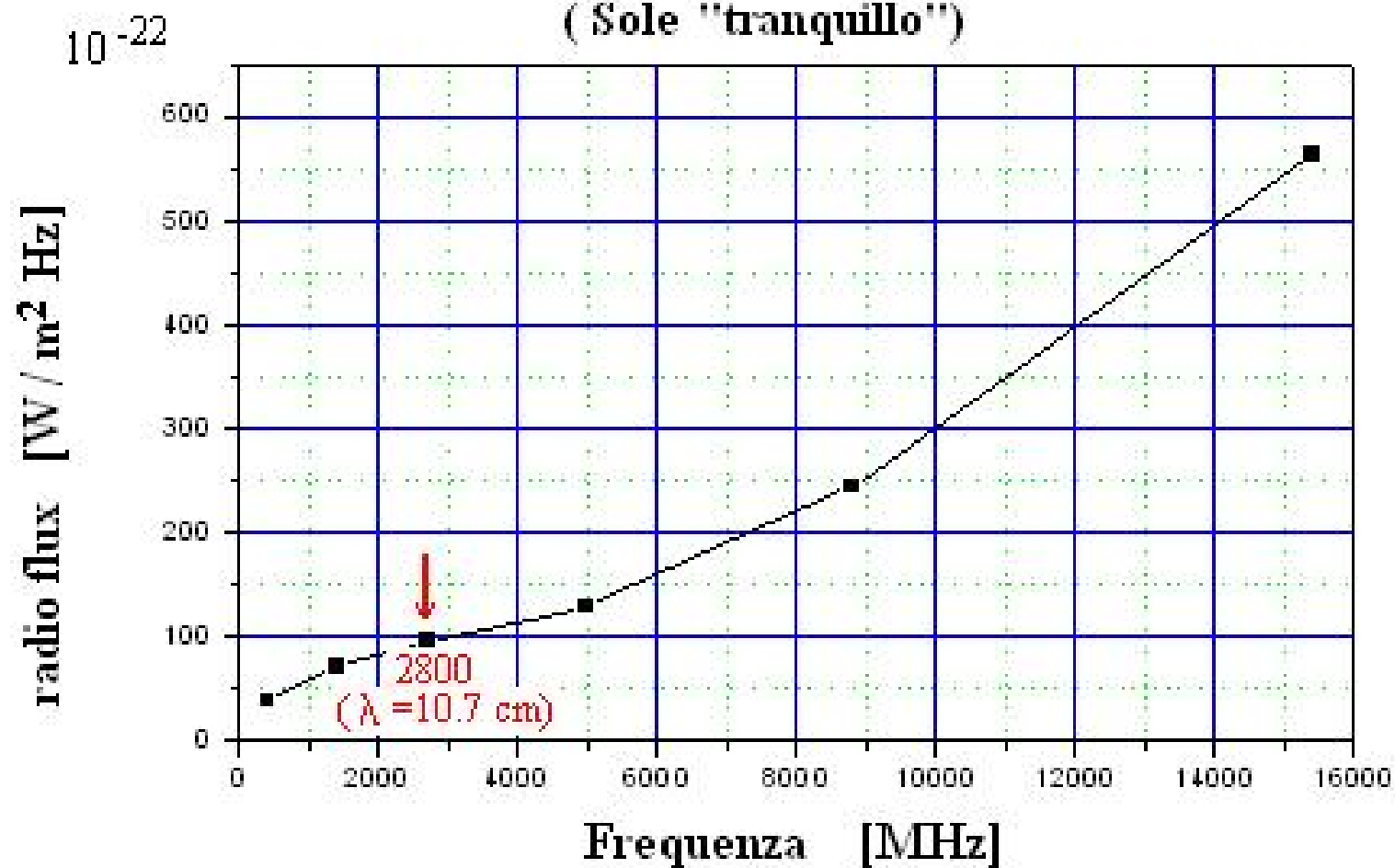
Attenuazione per pioggia (forte pioggia, pioggia moderata, debole pioggia) in dB/km, in funzione della frequenza.

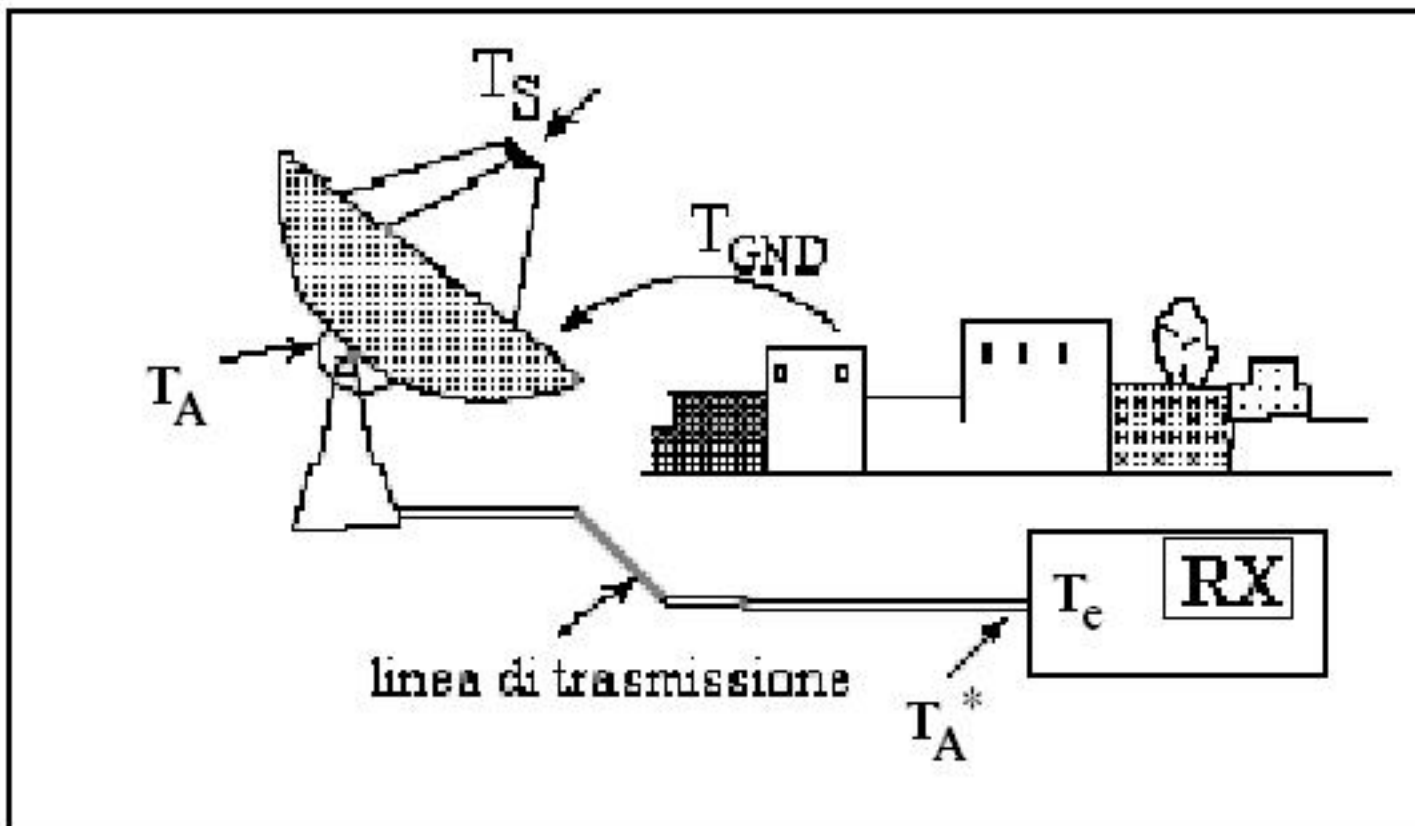




San Vito radio flux - 13 Feb. 2010 - 12:00 UTC

(Sole "tranquillo")





Temperatura di sistema: $T_{sys} = T_A^* + T_e$

La temperatura T_A^* alla base della linea diviene:

$$T_A^* = \frac{T_A}{A_L} + \left(1 - \frac{1}{A_L} \right) T_L$$

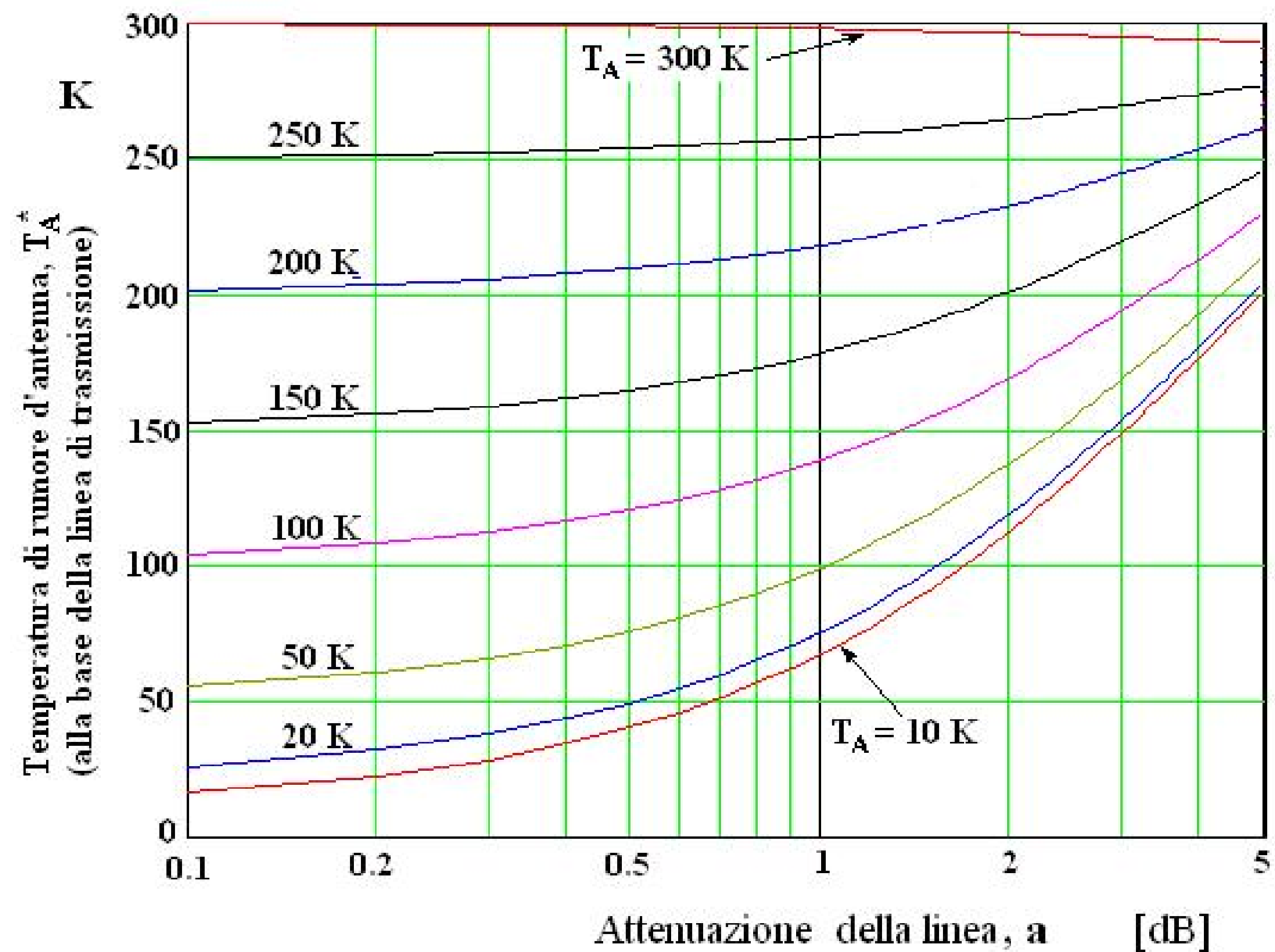
dove: T_A è la temperatura d'antenna osservata ai suoi morsetti

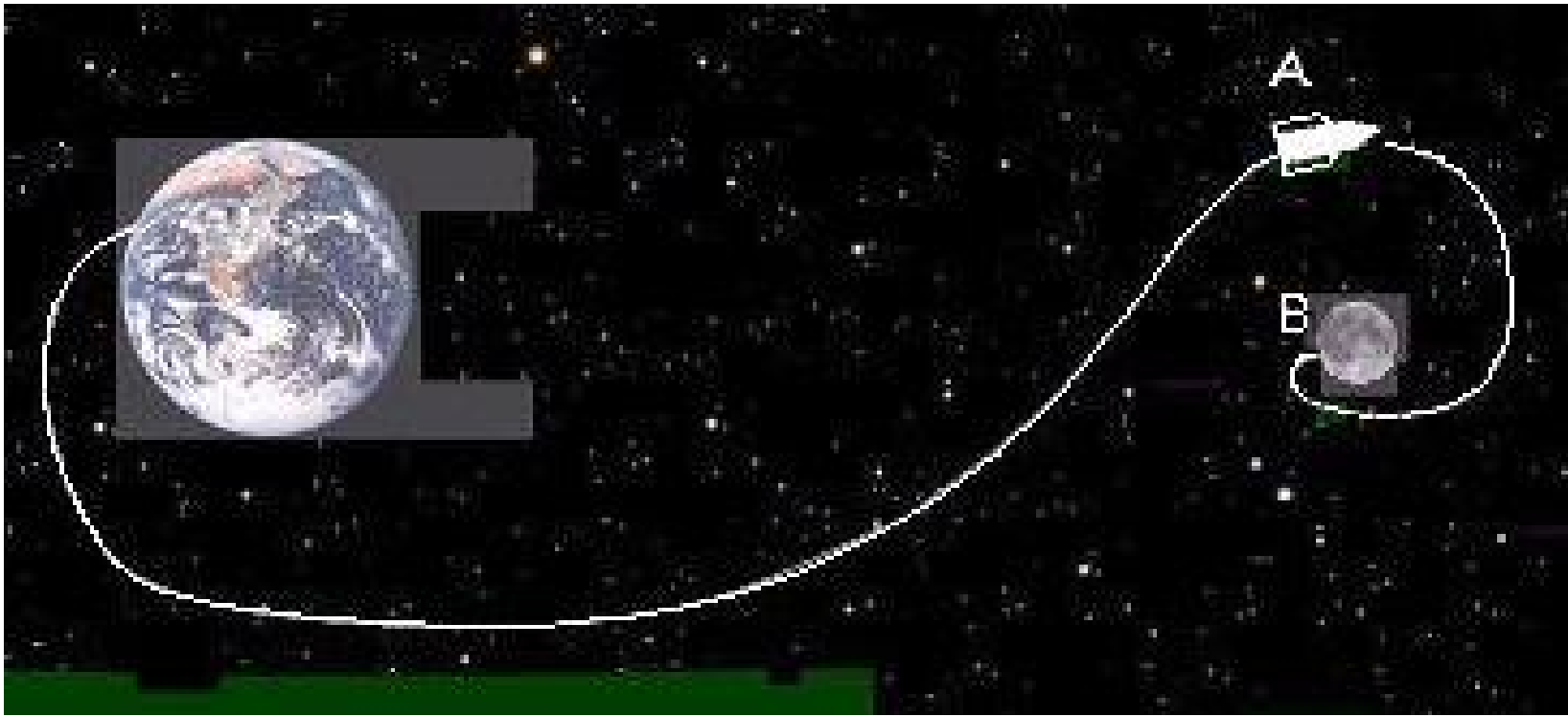
T_L è la temperatura della linea di trasmissione

(temperatura ambiente = 290 ÷ 300 K)

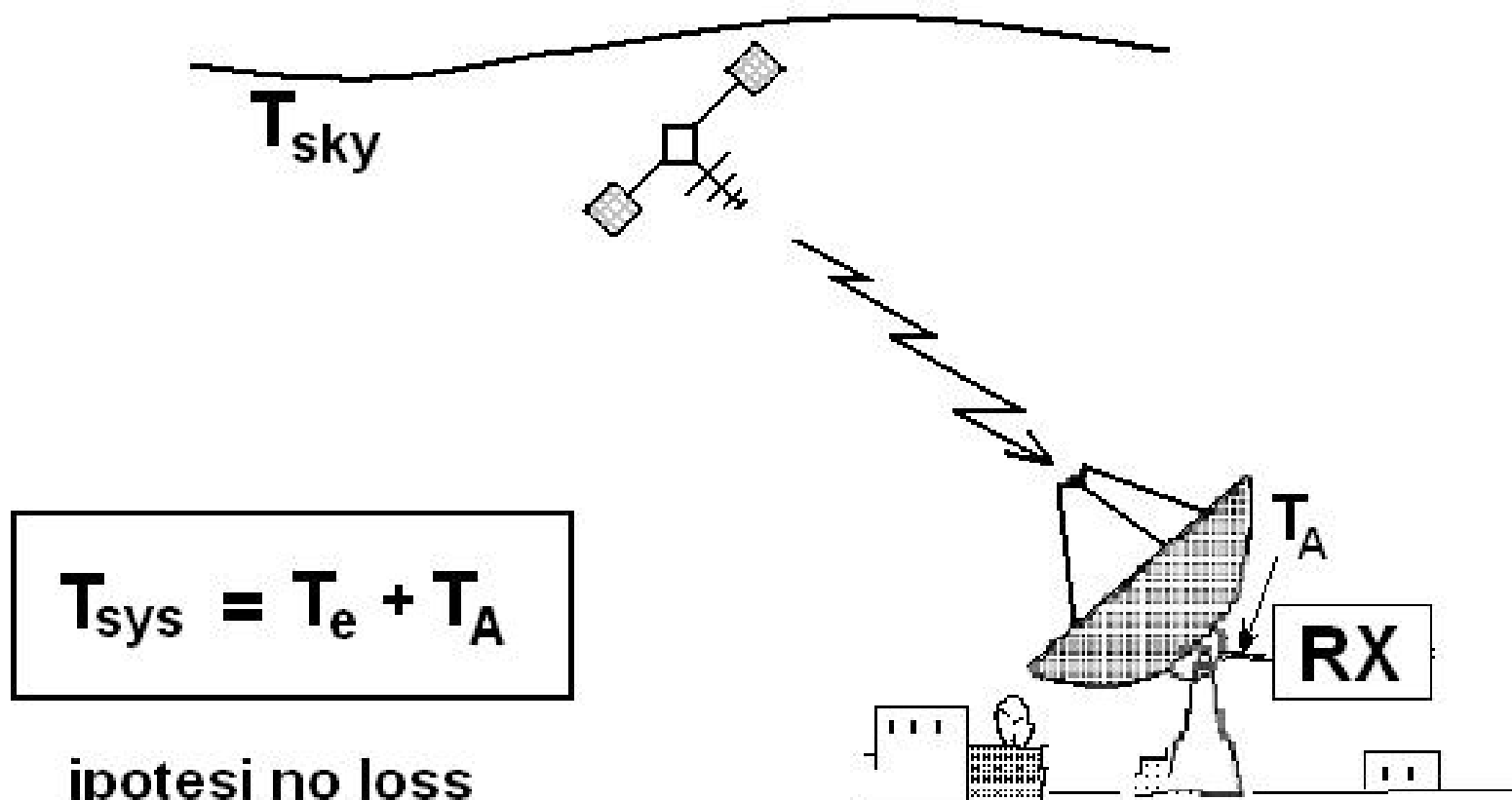
A_L è il fattore numerico di attenuazione

e vale: $A_L = 10^{a/10}$ con a = attenuazione della linea in dB.





La distanza è la stessa..... ma la temperatura del fondo è diversa!

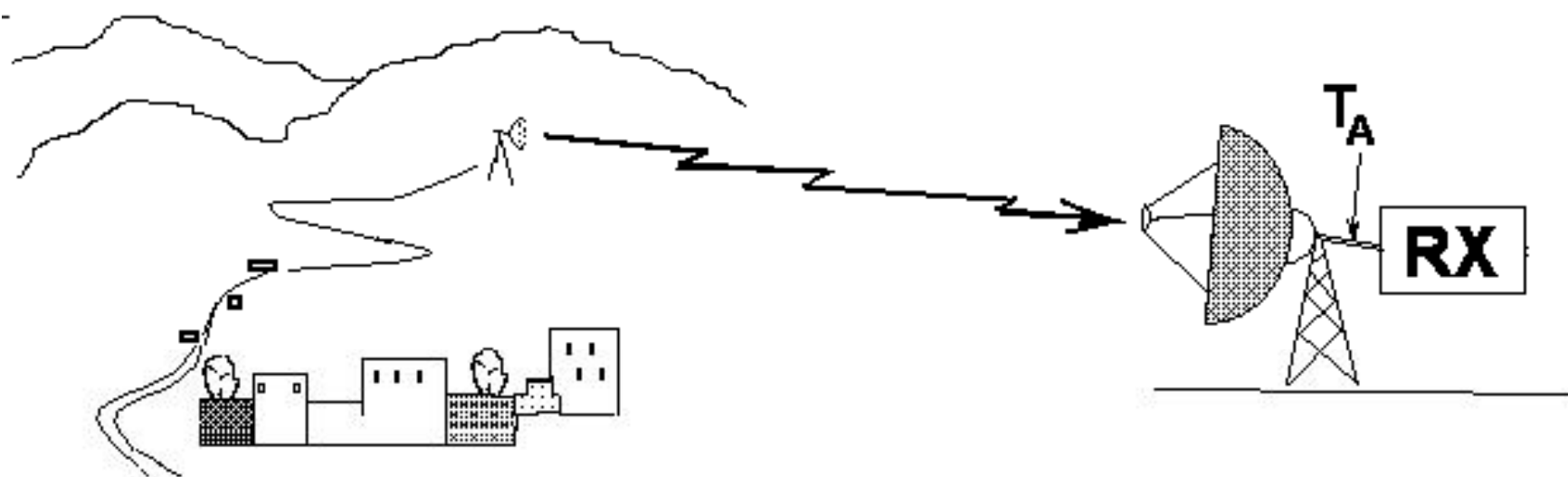


$$T_{\text{sys}} = T_e + T_A$$

ipotesi no loss

$$T_A = 5 \text{ K}$$

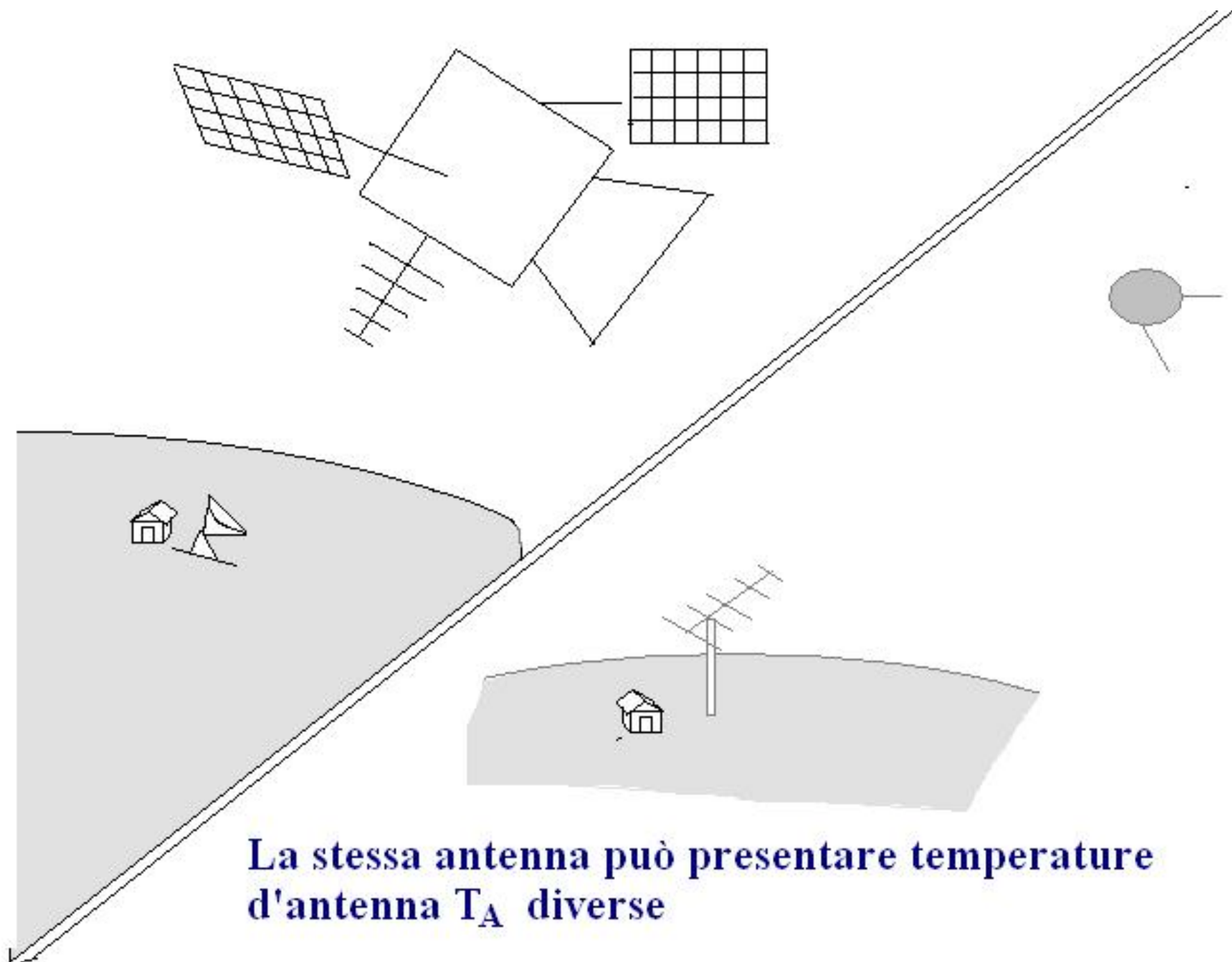
**IL NF del ricevitore
è determinante**



$$T_{\text{sys}} = T_e + T_A$$

ipotesi no loss

$$T_A = 300 \text{ K}$$



Il contributo T_{Ai} , che tiene conto delle perdite che si producono nel “transito” dalla antenna stessa, può essere, invece, utilizzato per caratterizzare l’antenna (parte delle perdite dipendono, però, anche dalla temperatura fisica dell’antenna stessa).