ALGO

WWW.ALGORITMOSTEM.IT

SCIENCE TECHNOLOGY ENGINEERING MATHEMATICS

Appunti

Trasmissione in ponte radio

IIS2 - Telecomunicazioni

rev.0.1 - 02 set 2023

Draft version

Appunti intesi esclusivamente di ausilio alle lezioni, che le integrano nelle descrizioni e nei ragionamenti su quanto viene riportato in queste pagine.

Licenza Creative Commons CCBYNCND.
È consentita la condivisone del documento originale a condizione che non venga modificato né utilizzato a scopi commerciali, sempre attribuendo la paternità dell'opera all'autore

TRASMISSIONE in Ponte Radio

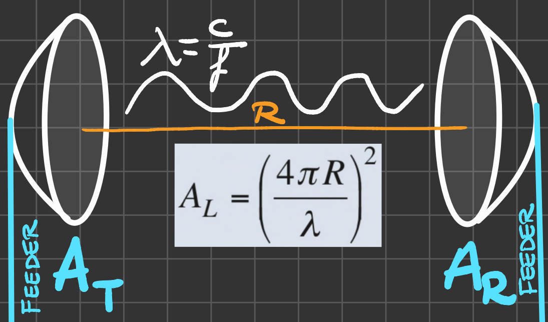
P_R potenza ricevuta
P_T potenza Trasmessa
G_T Guadagno del Trasmettitore
G_R Guadagno del Ricevitore

A_L Attenuazione nello spazio libero
A_T Attenuazione Feeder Trasmissione
A_R Attenuazione in Feeder Ricezione
R distanza tra ponti Radio

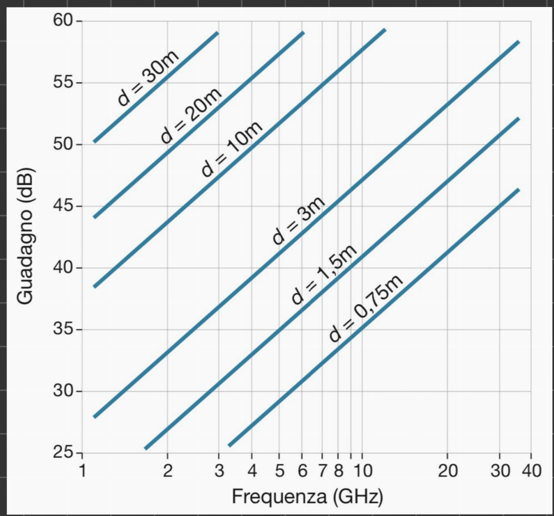
lunghezza d'onda del segnale $\lambda = \frac{c}{f}$ — c velocità della luce $3 \cdot 10^8$ m/sec — f frequenza del segnale

In condizioni Ideali

(formula di FRIIS)



$$A_L = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2$$



P_T — $G_T = \frac{\pi^2 d^2}{\lambda^2} \cdot \eta_{aT}$ $\qquad$ $G_R = \frac{\pi^2 d^2}{\lambda^2} \cdot \eta_{aR}$ — P_R

EIRP

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{A_L A_T A_R} \text{ [watt]} = 10 \log P_R \text{ [dB]}$$

$$P_R(\mathrm{dB}) = P_T(\mathrm{dB}) + G_T(\mathrm{dB}) + G_R(\mathrm{dB}) - A_L(\mathrm{dB}) - A_T(\mathrm{dB}) - A_R(\mathrm{dB})$$

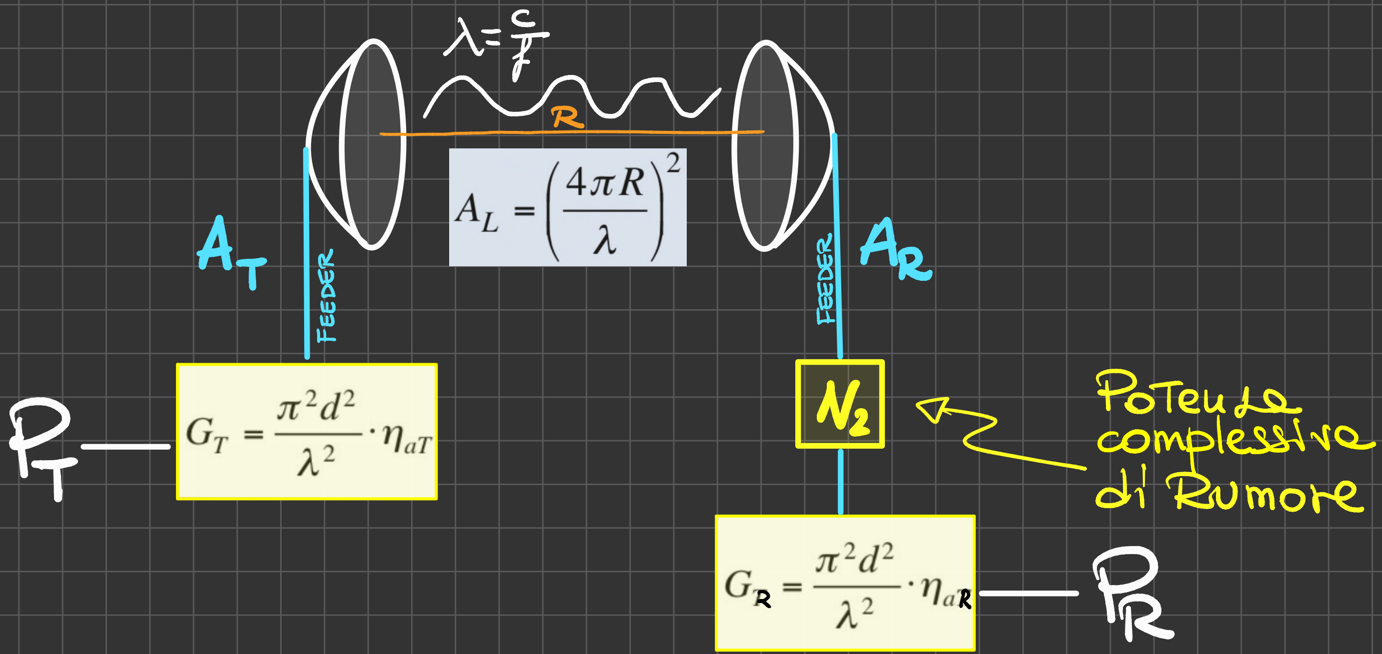
ALGO - licenza d'uso creative common CCBYNCND - www.algoritmostem.it

In condizioni reali

1) effetto Troposfera — Trasmissione non rettilinea

2) Fading < attenuazione / interferenze

Tali effetti sono sintetizzati dal rumore N_2 all'ingresso del ricevitore



$$T_{eq2(f+a)} = \frac{(A_R - 1)T + T_A}{A_R}$$

Temp. equivalente di rumore del sistema Antenna Feeder

$$N_2 = N_{2(f+a)} + N_{2R} = k(T_{eq2(f+a)} + FT)B$$

$$N_2(\text{dB}) = -174 + 10\log F + 10\log B$$

per T = 290 K e Teq Trascurabile

ALGO - licenza d'uso creative common CCBYNCND - www.algoritmostem.it

DIMENSIONAMENTO (Analogico)

basato sul rapporto segnale/rumore

bisogna garantire un margine di Fading

disponibilità della Trasm.

$$D = e^{-\frac{P_{MIN}}{P_R}} = \frac{1}{e^{\frac{P_{MIN}}{P_R}}}$$

Potenza minima di ascolto

$$P_R(\text{dB}) = \text{EIRP}(\text{dB}) + G_R(\text{dB}) - A_L(\text{dB}) - A_R(\text{dB}) - M(\text{dB})$$

$$\text{EIRP} \to 10\log\left(\frac{P_T G_T}{A_T}\right) = P_T\big|_{dB} + G_T\big|_{dB} - A_T\big|_{dB}$$

$$M(\text{dB}) = -10\log(-\ln D)$$

margine di Fading

$$\left(\frac{S}{N}\right)_2(\text{dB}) = \text{EIRP}(\text{dB}) + G_R(\text{dB}) - A_L(\text{dB}) - A_R(\text{dB}) + M(\text{dB}) - 10\log\frac{k(T_{eq(f+a)} + FT)B}{10^{-3}}$$

$$-10\log(-\ln D)$$

$$\text{EIRP} = P_T(\text{dB}) + G_T(\text{dB}) - A_T(\text{dB})$$

$$10\log\left(\frac{P_T G_T}{A_T}\right)$$

$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ W/K · Hz

$$174 - 10\log F - 10\log B$$

con $T = 290°K$ e T_{eq} Trascurabile

ALGO - licenza d'uso creative common CCBYNCND - www.algoritmostem.it

DIMENSIONAMENTO (digitale)

Basato sulla probabilità di errore, rappresentativo di $\frac{E_b}{S_n}$
(preferito al rapporto segnale/rumore perché non dipende da B)

Rapporto segnale/rumore

$$\frac{S}{N} = \frac{E_b}{S_N}\frac{V_T}{B}$$

velocità di trasmissione

banda del segnale

Energia associata alla trasmissione di un bit

densità di potenza di rumore

$$\frac{E_b}{S_N} = \frac{S}{N}\frac{B}{V_T} = \frac{S}{S_N B}\frac{B}{V_T} = \frac{S}{S_N V_T}$$

non dipende dalla banda

$$\left(\frac{E_b}{S_N}\right)(\text{dB}) = S(\text{dB}) - S_N(\text{dB}) - 10\log V_T$$

$$\left(\frac{E_b}{S_N}\right)_2(\text{dB}) = \text{EIRP}(\text{dB}) + G_R(\text{dB}) - A_L(\text{dB}) - A_R(\text{dB}) - M(\text{dB}) - 10\log\frac{k(T_{eq2(f+a)} + FT)}{10^{-3}} - 10\log V_T$$

$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ W/K · Hz

Per $T = 290$ K e T_{eq} trascurabile

$$+174 - 10\log F - 10\log V_T$$

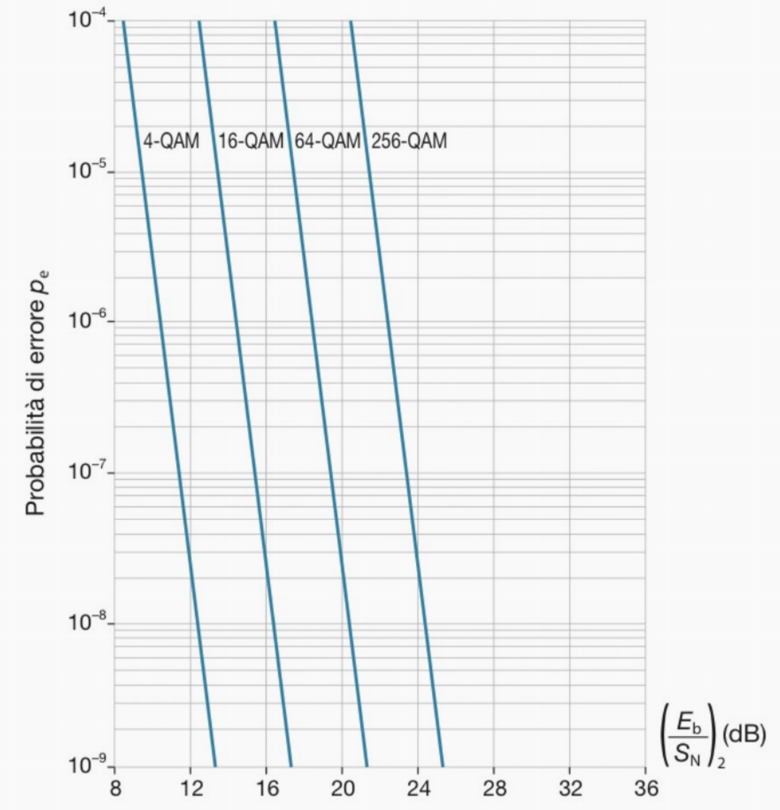


Figura E1.16 Probabilità di errore in funzione del parametro $(E_b/S_N)_2$ all'ingresso del ricevitore.

ALGO - licenza d'uso creative common CCBYNCND - www.algoritmostem.it

Esercizio 1

La distanza tra due stazioni radio è R = 35 km. La stazione trasmittente ha un paraboloide con guadagno G_T = 15 dB e quella ricevente un paraboloide con guadagno G_R = 20 dB.

Sapendo che la frequenza di lavoro è f = 3 GHz, determinare la potenza che la stazione trasmittente deve irradiare affinché la potenza ricevuta dalla stazione ricevente sia P_R = –45 dB.

[*Risultato*: P_T = 52,8 dB]

$R = 35\ \text{km} = 35 \cdot 10^3\ \text{m}$

$f = 3\ \text{GHz} = 3 \cdot 10^9\ \text{Hz}$

$c = 3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ (velocità della luce)

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{\cancel{3} \cdot \cancel{10^8}}{\cancel{3} \cdot \cancel{10^9}_{10}} = 10^{-1}$$

$$A_L = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 \Bigg|_{dB} = 10 \log\left[\left(\frac{4\pi\, 35 \cdot 10^3}{10^{-1}}\right)^2\right] = 10 \log\left[\left(140 \cdot \pi\, 10^4\right)^2\right] = 132{,}8\ \text{dB}$$

in dB

$$P_R = P_T + G_T + G_R - A_L - A_T - A_R$$

$P_R \to -45$ dB, $G_T \to 15$ dB, $G_R \to 20$ dB, $A_L \to 132{,}8$ dB, $A_T \to \varnothing$, $A_R \to \varnothing$

$$P_T = P_R - G_T - G_R + A_L = -45 - 15 - 20 + 132{,}8 = 52{,}8\ \text{dB}$$

ALGO - licenza d'uso creative common CCBYNCND - www.algoritmostem.it

Esercizio 2

Due stazioni radio sono distanti 35 km. L'antenna della stazione trasmittente è un paraboloide con guadagno G_T *= 30 dB ed è connessa al trasmettitore tramite un tratto di guida di lunghezza pari a 23,5 m, quella della stazione ricevente, connessa al ricevitore tramite un tratto di guida di lunghezza pari a 32 m, è realizzata con un paraboloide di diametro* d_R *= 1,8 m ed efficienza superficiale* η_{aR} *= 0,82.*

Nel caso la frequenza di lavoro sia f = 3 GHz e l'attenuazione dei raccordi in guida d'onda 0,16 dB/m, determinare:

a) *il diametro dell'antenna in trasmissione;*

b) *la potenza* P_T *che la stazione trasmittente deve irradiare affinché all'ingresso del ricevitore l'intensità di campo sia almeno pari a 45,6 µV/m.*

[*Suggerimento*: per il calcolo del diametro dell'antenna di trasmissione si utilizzino le curve della figura E1.3]

[*Risultati*: d_T = 1,5 m; P_T = 3,9 mW]

d_T ? 35 km

f = 3 GHz

$$A_L = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2$$

d_R = 1,8 m

η_{aR} = 0,82

$$G_T = \frac{\pi^2 d^2}{\lambda^2} \cdot \eta_{aT}$$

= 30 dB

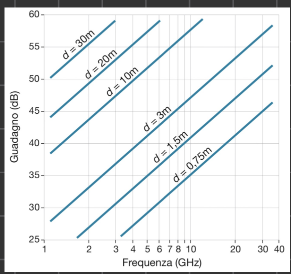
23,5 m

0,16 dB/m

32 m

0,16 dB/m

G_T



$d_T \longrightarrow 1,5\,m$

$A_T = 0,16 \cdot 23,5 = 3,76\,dB$

$A_R = 0,16 \cdot 32 = 5,12\,dB$

$A_L = \left(\frac{4\pi \cdot 35 \cdot 10^3}{10^{-1}}\right)^2 = 132,9\,dB$

$A = 3,76 + 5,12 + 132,9 = 142\,dB = 10^{14,2}$

$G_T = 30\,dB = 10^3$

$G_R = \frac{\pi^2 d^2}{\lambda^2} \cdot \eta_{aT} = 10 \log \left(\frac{3,14 \cdot 1,8}{10^{-1}}\right)^2 \cdot 0,82 = 34,9\,dB$

$E_{max} = \frac{1}{R}\sqrt{60 P_T G_T} = 45,6 \cdot 10^{-6}\,V/m \longrightarrow P_T = \frac{(E_{max} \cdot R)^2}{60\,G_T} = \frac{(45,6 \cdot 10^{-6} \cdot 35 \cdot 10^3)^2}{60 \cdot 10^3}$

nella direzione di max irradiazione

$= \frac{(45,6 \cdot 35)^2 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^4} = 4245\,W$

ALGO - licenza d'uso creative common CCBYNCND - www.algoritmostem.it

Esercizio 3

Un collegamento analogico in ponte radio ha frequenza portante f = *7,5 GHz e banda* B = *10 MHz.*

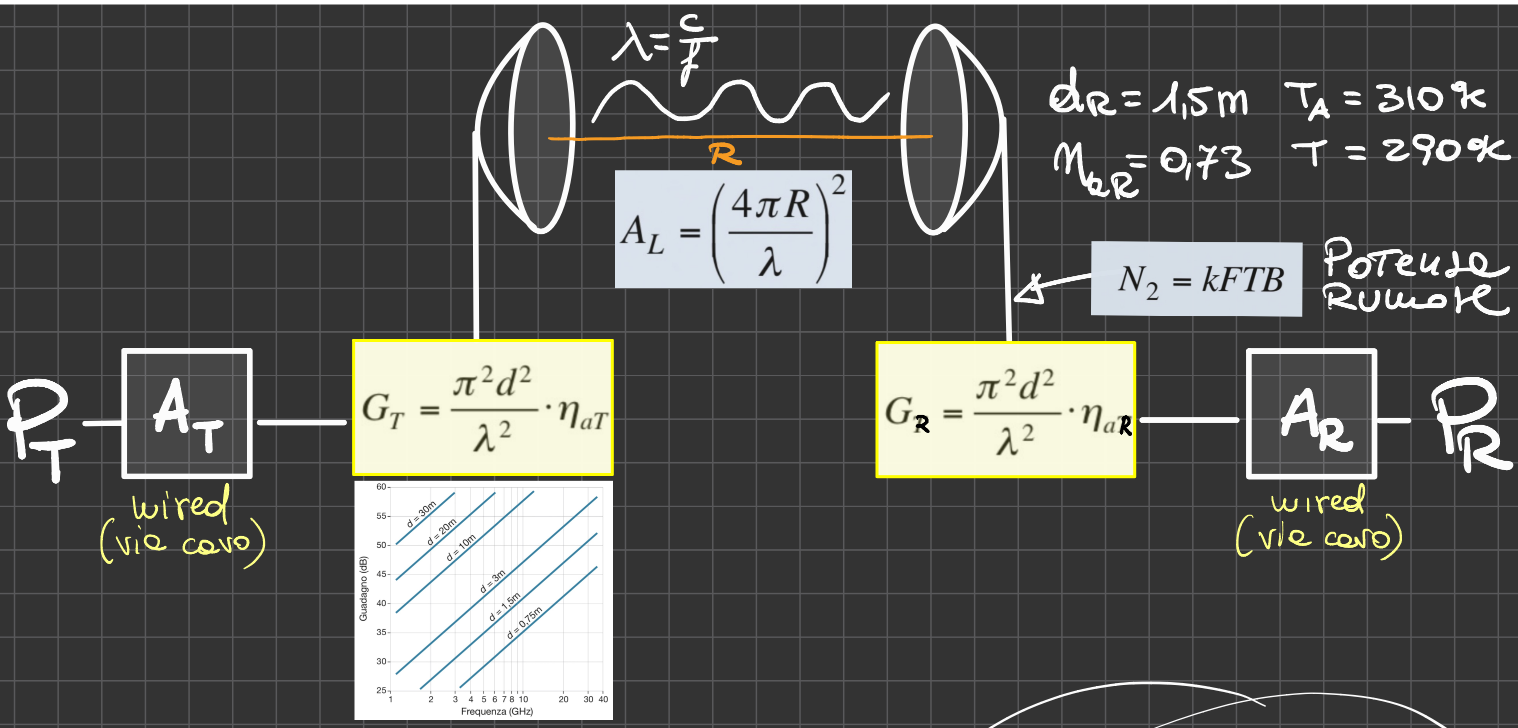
La stazione trasmittente è munita di un'antenna a paraboloide con guadagno G_T = *50 dB ed è collegata al trasmettitore mediante un feeder avente lunghezza di 14 m e attenuazione 0,12 dB/m.*

La stazione ricevente ha un'antenna a paraboloide avente diametro d_R = *1,5 m, efficienza superficiale* η_{aR} = *0,73, temperatura equivalente di antenna* T_A = *310 K, temperatura ambiente* T = *290 K, ed è collegata al trasmettitore tramite un feeder avente lunghezza di 18 m e attenuazione pari a 0,10 dB/m.*

Le due stazioni radio sono a una distanza R = *30 km.*

Sapendo che la figura di rumore del ricevitore è F = *4 dB, determinare la potenza da trasmettere affinché all'ingresso del ricevitore il rapporto segnale/rumore sia pari a 50 dB e la disponibilità del collegamento sia* D = *99,9 %.*

[*Risultato*: P_T = 3,16 W]



collegamento Analogico

$f = 0{,}75 \cdot 10^9$ $B = 1 \cdot 10^7\,Hz$

$G_T = 50\,dB$

feeder $A_T = 0{,}12\,\frac{dB}{m} \cdot 14\,m$

feeder $A_R = 0{,}10\,\frac{dB}{m} \cdot 18\,m$

$R = 30\,km = 3 \cdot 10^4\,m$

$F = 4\,dB$ (figura di rumore del ricevitore)

$\left(\frac{S}{N}\right) = 50\,dB$

disponibilità $D = e^{-\frac{P_{MIN}}{P_R}} = 0{,}999 = 99{,}9\%$

P?

$N_2 = KFBT \longrightarrow 10\log\frac{KFBT}{P_0} = 10\log\left(\frac{KT}{P_0}\right) + 10\log F + 10\log B$

$P_0 = 1\,mW$ riferimento

ALGO - licenza d'uso creative common CCBYNCND - www.algoritmostem.it

per $T = 290\,K \rightarrow N_2 = -174 + 10\log F + 10\log B$ dB

$$\left(\frac{S}{N}\right)_2 = \frac{P_R}{N_2}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_2 (\mathrm{dB}) = \mathrm{EIRP}(\mathrm{dB}) + G_R(\mathrm{dB}) - A_L(\mathrm{dB}) - A_R(\mathrm{dB}) + -M(\mathrm{dB}) + 174 - 10\log F - 10\log B$$

$$M(\mathrm{dB}) = -10\log(-\ln D)$$

In condizioni ideali reali

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_T} - \frac{1}{\rho}$$

Raggio equivalente terrestre

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_T} - \frac{1}{\rho} \quad [E1.12]$$

Viene definito inoltre l'**indice troposferico *k*** il rapporto:

Indice troposferico

$$k = \frac{R_{eq}}{R_T} \quad [E1.13]$$

Ricavando R_{eq} dalla [E1.12] e sostituendolo nella [E1.13] si ottiene:

Indice troposferico in funzione di ρ

$$k = \frac{\rho}{\rho - R_T} \quad [E1.14]$$

In condizioni standard, essendo $\rho = 4R_T$, per la [E1.14] l'indice troposferico (indicato con k_s) vale:

$$k_s = \frac{4R_T}{4R_T - R_T} = \frac{4}{3}$$

È da osservare se k assume valori maggiori o minori di k_s, si è in condizioni rispettivamente di atmosfera super standard o sub standard, come mostrato in **figura E1.8**.

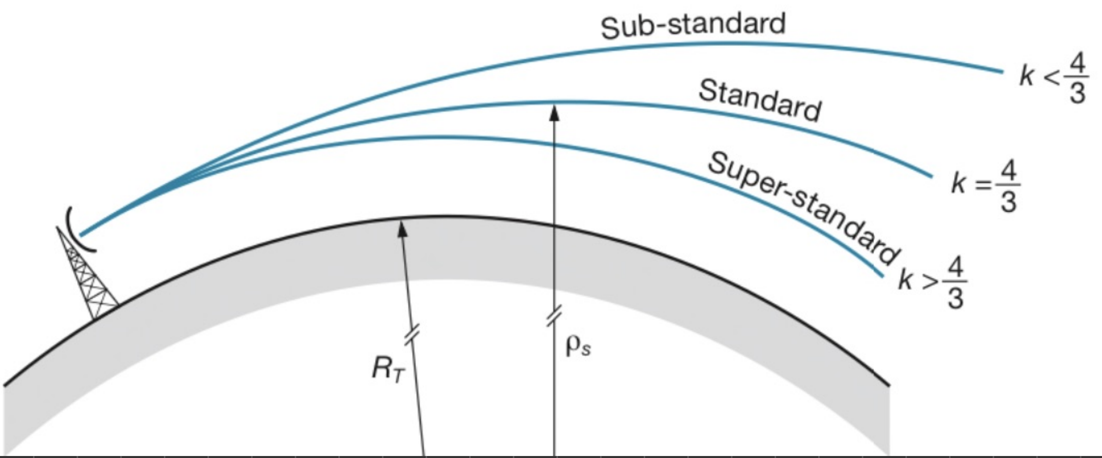


Figura E1.8 Possibili incurvamenti del segnale elettromagnetico per diversi valori dell'indice troposferico.

ALGO - licenza d'uso creative common CCBYNCND - www.algoritmostem.it